



Beatriz Suárez Mallo

Tese de doutoramento

Estudio colorimétrico de diferentes sistemas de blanqueamiento y su efecto sobre los tejidos dentales

Departamento de Estomatoloxía
Facultade de Medicina e Odontoloxía

Santiago de Compostela
2015

D. BENJAMÍN MARTÍN BIEDMA Profesor del Departamento de Patología y Terapéutica Dental de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela.

Dña. PURIFICACIÓN VARELA PATIÑO Profesora del Departamento de Patología y Terapéutica Dental de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universidad de Santiago de Compostela.

D. MANUEL RUÍZ PIÑÓN Profesor Máster de Endodoncia de la Facultad de Medicina y Odontología de Santiago de Compostela.

Como Directores de la Tesis de Doctoramiento titulada « **Estudio Colorimétrico de Diferentes Sistemas de Blanqueamiento y Su Efecto Sobre Los Tejidos Dentales.**»

Presentada por Dña. BEATRIZ SUÁREZ MALLO alumna do Programa de Doutoramento RD 1393/2007.

Autorizan la presentación de la tesis indicada, considerando que reúne los requisitos exigidos en el artículo 34 del regulamiento de Estudios de Doctoramiento, y que como Directores de la misma no incurre en las causas de abstención establecidas en la ley 30/1992.

Asdo.

Benjamín Martín Biedma

Purificación Varela Patiño

Manuel Ruíz Piñón

AGRADECIMIENTOS

Quisiera empezar expresando mi más sincero agradecimiento a los directores del presente trabajo, Benjamín Martín Biedma, Purificación Varela Patiño, Manuel Ruíz Piñón, por su dedicación en la dirección de este trabajo, generosidad y cariño, y sobretodo por su amistad.

A todos los integrantes de Patología y Terapéutica Dental de la Facultad de Odontología de Santiago, por su ayuda en la realización de este trabajo, y en especial a Berta Rivas Mundiña por su colaboración.

A Manuela Lopes y Luis Lopes, de la Universidad de Lisboa por su ayuda indispensable en la realización de este trabajo.

A mi familia, a mis padres por su ayuda y apoyo, a Rafa por su cariño y por estar siempre a mi lado y a mi hermana Cruz siempre dispuesta a acompañarme y ayudarme en lo que necesite.

A Yago, Carmen y Álvaro

RESUMEN

La elevada demanda de tratamientos estéticos en la práctica diaria tiene como consecuencia un aumento en la realización de tratamientos de blanqueamiento, lo que determina la necesidad de estudios para conocer el efecto sobre el color y poder determinar pautas terapéuticas más efectivas y adecuadas para cada caso con el menor riesgo para los tejidos dentales. Con la realización de esta investigación perseguimos diferentes objetivos. Por un lado, evaluar el color conseguido con el empleo de perborato de sodio en el blanqueamiento de dientes desvitalizados, utilizando para ello métodos objetivos para poder determinar la variación dentro del espacio de color CIELab, y las alteraciones ultraestructurales, estudiándolas mediante MEB. El siguiente objetivo es valorar la combinación de dos protocolos de blanqueamiento, interno y combinado externo e interno para valorar si el uso de un blanqueamiento combinado supone o no una mejoría en los resultados de color y su repercusión en los tejidos duros dentales. Por último estudiamos la influencia de la aplicación de un proceso de triturado del agente blanqueante, perborato de sodio, que permitiría la obtención de partículas con granulometrías progresivamente inferiores en función del tiempo de molido, y su repercusión en la variación de color para los parámetros a^* , b^* , L^* y ΔE .

Palabras clave: Perborato de Sodio, Blanqueamiento Interno, Blanqueamiento Externo, Espectrofotometría, Microscopía Electrónica.

RESUMO

A elevada demanda de tratamentos estéticos na práctica diaria ten como consecuencia un aumento na realización de tratamentos de blanqueamiento, o que determina a necesidade de estudos para coñecer o efecto sobre a cor e poder determinar pautas terapéuticas máis efectivas e adecuadas para cada caso co menor risco para os tecidos dentais. Coa realización desta investigación perseguimos diferentes obxectivos. Por unha banda, avaliar a cor conseguida co emprego de perborato de sodio no blanqueamiento de dentes desvitalizados, utilizando para iso métodos obxectivos para poder determinar a variación dentro do espazo de cor CIELab, e as alteracións ultraestructurales, estudándoas mediante MEB. O seguinte obxectivo é valorar a combinación de dous protocolos de blanqueamiento, interno e combinado externo e interno para valorar se o uso dun blanqueamiento combinado supón ou non unha melloría nos resultados de cor e a súa repercusión nos tecidos duros dentais. Por último estudamos a influencia da aplicación dun proceso de triturado do axente blanqueante, perborato de sodio, que permitiría a obtención de partículas con granulometrías progresivamente inferiores en función do tempo de moído, e a súa repercusión na variación de cor para os parámetros a^* , b^* , L^* ΔE .

Palabras Clave: Perborato de Sodio, Blanqueamiento Interno, Blanqueamiento Externo, Espectrofotometría, Microscopía Electrónica.

SUMMARY

The high demand of cosmetic treatments in the daily practice has like consequence an increase in the realisation of treatments of bleaching, that perform requiring studies to know the effect on the colour and can determine the most effective treatment regimens and appropriate in each case with the lower risk for the dental tissues. With the realisation of this investigation pursue different aims. On the one hand, evaluate the colour achieved with the use of sodium perborate in non vital bleaching, using objective methods to determine the variation in the CIELab color space, and the ultrastructural alterations, studying by SEM. The next objective is to asses the combination of two bleaching protocols, internal and combined external and internal to assess whether the use of a combined bleaching involves no improvement in the results of color and its impact on dental hard tissues. Finally we studied the influence of the application of a grinding process of bleaching agent, sodium perborate, which would allow the production of particles with progressively lower particle sizes as a function of grinding time, and its effect on the color variation parameters parameters for a^* , b^* , L^* and ΔE .

Key Words: Sodium Perborate, Internal Bleacning, External Bleaching, Spectrophotometer, Electron Microscopy.



Índice

Introducción.....	27
I.Color.....	27
I.1.Concepto de color.....	27
I.2.Percepción de color.....	29
I.2.1.Fuente de luz.....	29
I.2.2.Objeto de observación.....	30
I.2.3.Observador.....	31
I.3.Espacios de color.....	32
I.3.1.Sistema de Color de Munsell.....	32
I.3.2.Espacio Cromático CIE 1931.....	35
I.3.3. Espacio Cromático CIE 1976 (CIELAB).....	37
I.3.4. CIELCH.....	41
I.4. Propiedades ópticas de los dientes.....	43
I.5. Espacio cromático dental.....	48

I.6. Medición del color dental.....	51
II. Blanqueamiento dental.....	55
II.1. Discoloraciones dentales.....	58
II.2. Clasificación de las discoloraciones.....	59
II.2.1. Coloraciones extrínsecas.....	60
II.2.1.1. Coloraciones extrínsecas directas.....	61
II.2.1.2. Coloraciones extrínsecas indirectas.....	62
II.2.2. Coloraciones intrínsecas.....	62
II.2.2.1. Causas sistémicas.....	63
II.2.2.1.1. Fluorosis.....	64
II.2.2.1.2. Tinción por tetraciclina.....	64
II.2.2.1.3. Amelogénesis imperfecta.....	67
II.2.2.1.4. Dentinogénesis imperfecta.....	67
II.2.2.1.5. Porfiria eritropoyética congénita.....	68
II.2.2.1.6. Fibrosis quística.....	68
II.2.2.1.7. Enfermedades hematológicas.....	68

II.2.2.1.8. Enfermedades endocrinas.....	69
II.2.2.2.Causas locales.....	69
II.2.2.2.1.Necrosis pulpar.....	69
II.2.2.2.2.Hemorragia intrapulpar.....	70
II.2.2.2.3. Tejido pulpar remanente.....	71
II.2.2.2.4.Materiales endodónticos.....	71
II.2.2.2.5.Materiales de relleno coronario.....	72
II.2.2.2.6. Resorción radicular.....	73
II.2.2.2.7. Edad.....	73
II.3.Indicaciones y contraindicaciones del Blanqueamiento.....	73
II.3.1. Indicaciones.....	73
II.3.2. Contraindicaciones.....	74
III. Tratamientos de blanqueamiento.....	75
III.1. Blanqueamiento Vital.....	78
III.1.1.Blanqueamiento profesional.....	78
III.1.2.Tratamiento ambulatorio.....	79

III.1.3. Blanqueamiento combinado.....	82
III.2. Efectos adversos del blanqueamiento vital.....	82
III.3. Blanqueamiento de dientes desvitalizados.....	85
III.3.1. Agentes blanqueantes.....	86
III.3.2. Técnica de blanqueamiento no vital.....	89
III.3.2.1. Técnica ambulatoria.....	89
III.3.2.2. Técnica externa/interna.....	92
III.3.2.3. Blanqueamiento clínico.....	93
III.3.2.4. Técnica Termocatalítica.....	93
IV. Complicaciones y riesgos del blanqueamiento interno.....	94
IV.1. Efectos sobre los tejidos duros.....	95
IV.2. Resorción cervical externa.....	98
IV.3. Efecto sobre las fuerzas de adhesión.....	101
IV.4. Toxicidad de los productos blanqueantes.....	104
Hipótesis de trabajo.....	111

Material y Métodos.....	115
I. Análisis colorimétrico y microscópico de dientes sometidos a blanqueamiento interno.....	115
I.1. Material y preparación de las muestras.....	115
I.2. Estudio colorimétrico.....	120
I.3. Microscopía electrónica. Preparación de los Especímenes.....	125
I.4. Análisis de datos.....	127
II. Análisis colorimétrico y microscópico de dientes sometidos a blanqueamiento interno y externo conjuntamente versus blanqueamiento interno.....	128
II.1. Material y preparación de las muestras.....	128
II.2. Estudio colorimétrico.....	130
II.2.1. Dientes tratados con blanqueamiento interno.....	130
II.2.2. Dientes tratados con blanqueamiento externo e interno...	132
II.3. Microscopía electrónica. Preparación del espécimen.....	133
II.4. Análisis de datos.....	134

III. Estudio de la eficacia del blanqueamiento interno del perborato en función del tamaño de partícula.....	135
III.1. Material y preparación de las muestras.....	135
II.1.1. Molino de bolas.....	135
II.1.2. Grupos de triturado.....	137
III.2. Análisis de datos.....	145
Resultados.....	149
I. Análisis colorimétrico y microscópico de dientes sometidos blanqueamiento interno.....	149
I.1. Análisis de los cambios de color antes y después del blanqueamiento dental.....	149
I.1.1. L^*	150
I.1.2. a^*	151
I.1.3. b^*	152
I.1.4. ΔE^*	153
I.2. Estudio mediante MEB de las superficies dentales.....	154
I.2.1. Esmalte.....	154

I.2.2. Dentina.....	156
II. Análisis colorimétrico y microscópico de dientes sometidos a blanqueamiento externo e interno conjuntamente versus blanqueamiento interno.....	158
II.1. Estudio colorimétrico.....	158
II.1.1. L^*	158
II.1.2. a^*	159
II.1.3. b^*	160
II.1.4. ΔE^*	161
II.2. Estudio mediante MEB de las superficies dentales.....	162
III. Estudio de color de los dientes sometidos a blanqueamiento con distintos triturados.....	165
III.1. Variables a^* , b^* , L^* en distintos tiempos.....	167
III.2. Variables para a^*	169
III.2.1. a^* en distintos tiempos.....	171
III.3. Variables para b^*	179
III.3.1. b^* en distintos tiempos.....	180

III.4. Variables para L^*	187
III.4.1. L^* en distintos tiempos.....	188
III.5. a^* en distintos grupos.....	195
III.6. b^* en distintos grupos.....	203
III.7. L^* en distintos grupos.....	210
III.8. ΔE . Evolución a través del tiempo.....	217
III.9. Evolución a través de los grupos de triturado.....	223
III.10. Evaluación a través de las semanas dentro de cada grupo de triturado.....	228
III.11. Evolución a través del triturado dentro de cada tiempo.....	242
Discusión.....	251
Conclusiones.....	281
Bibliografía.....	285



Introducción

I.COLOR

I.1. CONCEPTO DE COLOR

Para la comprensión del concepto de color es importante la definición del término luz.

La luz es una forma de energía comprendida dentro del espectro de la radiación electromagnética, entre los 360 y los 780 nanómetros de longitud de onda, para el cual nuestros ojos son sensibles (Pascual 2006).

El color es un fenómeno físico de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético, que percibimos a través de los órganos de la visión, como una sensación que permite diferenciar los objetos del espacio con mayor precisión.

El color de los objetos viene dado por sus propiedades de reflexión y absorción y por la luz que los ilumina, siendo generalmente una mezcla de colores con diferentes longitudes de onda. Cuando se observa un objeto iluminado por una luz blanca, el color que vemos corresponde a aquellas longitudes de onda que el objeto no ha absorbido o transmitido y que se reflejan en su superficie hacia el exterior (Pascual 2006).

Hay dos términos necesarios para explicar las características físicas del color que son la frecuencia y la longitud de onda:

Frecuencia es el número de ondas que pasan por un punto por unidad de tiempo.

Longitud de onda es la distancia entre dos puntos de dos ondas consecutivas, medido en nanómetros.

Las ondas pueden sufrir fenómenos de refracción, reflexión o difracción, por ello cuando una luz blanca pasa a través de un prisma se refracta dando lugar a los 7 colores, presentando cada uno una longitud y una frecuencia de onda distinta.

De los colores que componen el espectro de luz visible podemos diferenciar tres colores primarios y otros secundarios obtenidos desde los primeros. Estos colores primarios son el rojo, el verde, y el azul. Hay dos formas de mezclar la luz: aditiva y sustractiva. Cuando la luz coloreada se mezcla, la luz resultante representa la suma del espectro de todos los colores de la mezcla (Guyton 1996). Según la teoría aditiva del color, los tres colores primarios juntos dan lugar al color blanco, mientras que la mezcla de los secundarios dan lugar al color negro, en cambio según la teoría sustractiva, se basa en restar luz eliminando longitudes de onda determinadas del espectro incidente mediante filtros o bien mediante absorción y dispersión de la luz (Amengual 2002).

I.2. PERCEPCIÓN DE COLOR

La percepción del color comprende 3 elementos:

Fuente de luz

Objeto, en nuestro caso un diente

Observador

Es decir, el color es la respuesta de la interacción física de la energía de la luz con un objeto y la experiencia subjetiva de un observador individual (Joiner 2004).

I.2.1.Fuente de luz

Se trata de un concepto genérico para la fuente de emisión de radiación electromagnética visible. Puede emitir energía radiante de un rango de longitudes de onda y ésto está caracterizado por la cantidad relativa de energía emitida en cada longitud de onda en el espectro visible. La fuente de luz que ilumina un objeto afecta la percepción del color, ya que contiene una cantidad variable de cada una de las longitudes de onda visibles de la luz, de forma que existen diferencias, por ejemplo entre la visión de un objeto con luz natural y luz artificial. La fuente de luz ejerce una influencia cualitativa y cuantitativa en la percepción cromática.

Cuando la luz incide sobre un objeto puede ser que la luz se refleje, se refracte, absorba, disperse y/o se transmita.

La reflectancia espectral de un objeto caracteriza la composición del color de ese objeto y la reflexión espectral o curva de transmisión del objeto lo representa gráficamente, y proporciona un camino de cuantificación numérica del color (Joiner 2004). Un objeto varía en color en función de la energía que es absorbida o reflejada, así por ejemplo un objeto rojo, se observa primariamente con ese color debido a que refleja longitudes de ondas rojas más que verdes o azules.

Por tanto, el color de los objetos viene dado por sus propiedades de reflexión y absorción y por la luz que los ilumina, siendo generalmente una mezcla de colores con diferentes longitudes de onda.

I.2.2.Objeto de observación

El color de los objetos depende de las propiedades intrínsecas de cada objeto, como la translucidez, opacidad y brillo. Desde el punto de vista físico, el color de los objetos se caracteriza por la reflectancia espectral difusa, que especifica la relación entre el flujo incidente a la superficie del material y el reflejado en forma difusa por el cuerpo (Hita 2001). El color de los objetos también depende de las propiedades intrínsecas del propio objeto. Características como la translucidez, la opacidad, el brillo, forma y tamaño del objeto, influyen en la percepción del color.

I.2.3.Observador

Además de la fuente de luz y del objeto, el observador constituye el tercer elemento de la percepción del color.

El observador se define mediante sensibilidades del ojo humano determinadas experimentalmente en la gama de la luz visible desde 380 nm hasta 720 nm. En función del tamaño del área observada, la percepción del color puede variar ligeramente. Esto es debido a que las células receptoras del color se concentran en la zona central de la retina, fovea centralis, recogen parte del espectro visible que transforman en impulsos eléctricos que son enviados al cerebro, donde esta información es procesada (Paravina y Powers 2004). Las células responsables de la visión son los conos y bastones. Los conos son sensibles a la cantidad de luz y a la composición espectral de la misma. Los conos se dividen en conos S, conos M y conos L. Un 65% de los conos, son sensibles al color rojo, un 33% al verde y aproximadamente un 2% al azul, lo que explica que la sensibilidad cromática del ojo humano está basada en el sistema rojo-verde-azul (Sistema RGB) (Belvedere 2005).

La capacidad del ojo humano para distinguir las diferencias de color está influenciada entre otras por la fatiga ocular, las condiciones visuales y la poca memoria de color, además los ojos no detectan diferencias en matiz, saturación y luminosidad por igual, de forma que el observador

medio verá primero diferencias en matiz, luego diferencias de saturación y por último diferencias en luminosidad.

I.3. ESPACIOS DE COLOR

Un color es esencialmente una sensación subjetiva, por tanto para su medición lo que se puede hacer es describirlo usando números para cada uno de los atributos perceptivos que lo correlacione con lo que se percibe, además de situarlo en un espacio de representación (Corbalán 1996).

Para la medición del color es necesario un espacio cromático que permitirá organizar los colores en un espacio tridimensional. Se han desarrollado varios de estos sistemas para medir el color tal y como lo percibe el ojo humano. Hay numerosos sistemas de comparación visual y de descripción del color.

I.3.1. Sistema de Color de Munsell

En 1905, Albert H. Munsell ideó una escala de color que todavía se usa hoy en día, denominada Sistema de Color de Munsell. Este sistema da valores numéricos a las 3 propiedades del color.

Las características de los colores son las siguientes:

1. Matiz:

Color que percibimos de un objeto, que va a depender de la longitud de onda dominante entre las que refleja (Pascual 2006).

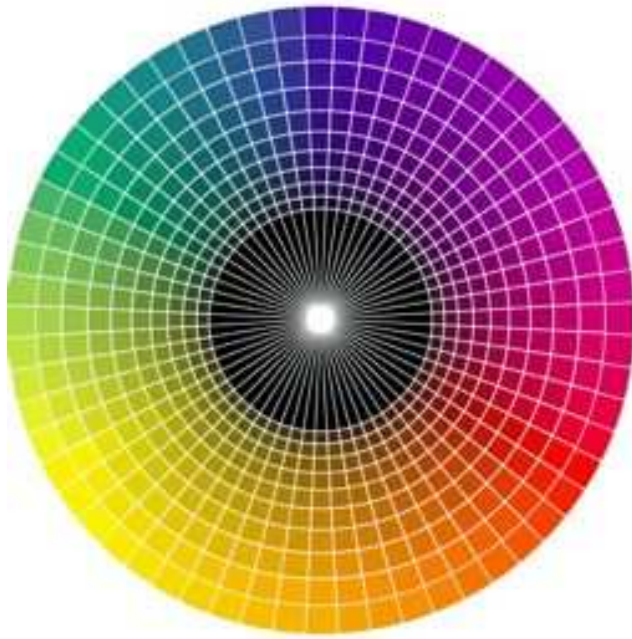


Fig.1. Matiz

2. Saturación

Describe lo intenso o apagado de un color. Cuando un color es monocromático sólo tiene una longitud de onda y tiene la mayor saturación posible. A medida que se va añadiendo luz blanca, la pureza del color disminuye a medida que el blanco aumenta. El blanco puro tiene saturación nula (Joiner 2004).

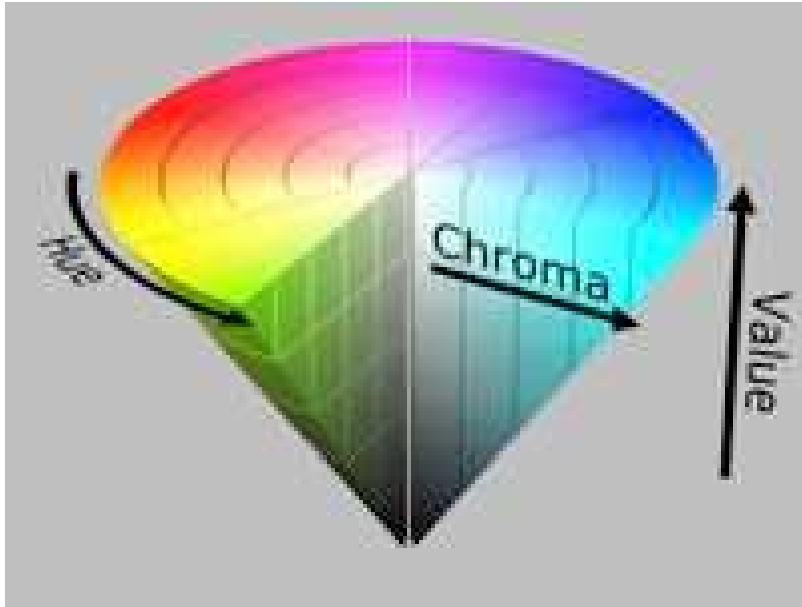


Fig.2. Saturación

3. Luminosidad

Describe si un color es claro u oscuro. No va a depender sólo del objeto sino también de la cantidad de energía luminosa presente. En odontología se puede cambiar la luminosidad de un color añadiendo pigmentos blancos o negros. Los valores de luminosidad varían de 0 (negro) a 100 (blanco) (Pascual 2006).

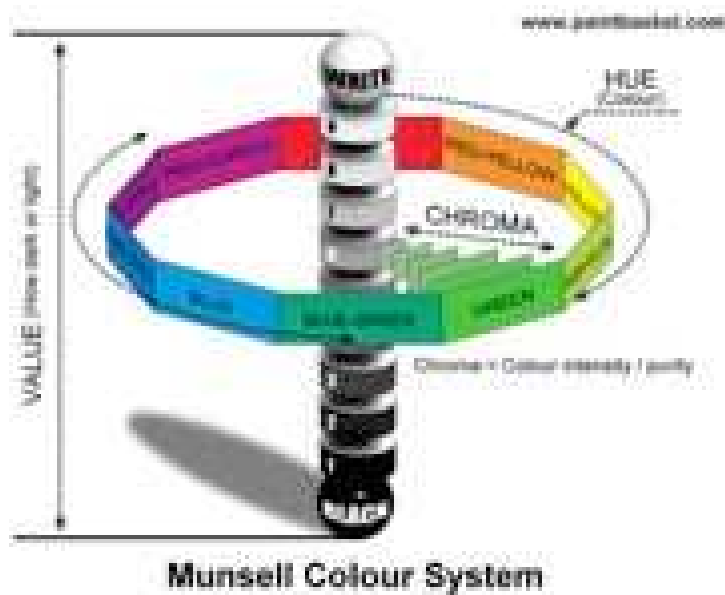


Fig.3. Luminosidad

El ojo humano tiene mayor sensibilidad para esta característica del color que para las otras dos. Por ejemplo con una luz ambiental tenue, seremos capaces de percibir si un color es brillante, pero no distinguiremos el matiz.

I.3.2. Espacio cromático CIE 1931

La CIE (Comisión Internacional sobre Iluminación), es la comisión responsable de las recomendaciones internacionales para fotometría y colorimetría. En 1931, el CIE propuso un método de valoración humana del color. Para ello estandarizó la fuente de luz, el observador y la metodología usada para los valores que describen el color (McLaren 1987).

El color se va a describir mediante 3 números que son los valores triestímulos del color, X, Y y Z, basados en la respuesta promedio del ojo humano a diferentes longitudes de onda (Paravina 2004).

Para obtener las medidas triestímulo el proceso se basa en la comparación visual de un color en condiciones estandarizadas con los tres colores primarios: rojo, verde y azul.

El color se representa mediante vectores en un espacio tridimensional que es denominado espacio triestímulo. Supongamos un color B, y un conjunto de valores primarios R, V y A. El color B podrá obtenerse con la mezcla de los tres primarios en la forma:

$$B = R_B \cdot R + V_B \cdot V + A_B \cdot A$$

Donde R_B , V_B , A_B representan las cantidades de cada primario que deben ser mezcladas para obtener el color B, y se llaman valores triestímulo de B.

En 1931 la CIE estableció las funciones de mezcla correspondientes a un observador estándar, denominadas X, Y, Z.

En este sistema los valores triestímulo del color serían X, Y y Z. Las coordenadas cromáticas de cada estímulo son x, y, z, obtenidas a partir de los valores triestímulos como:

$$x = X / X+Y+Z \quad y = Y / X+Y+Z \quad z = Z / X+Y+Z$$

de forma que $x+y+z=1$.

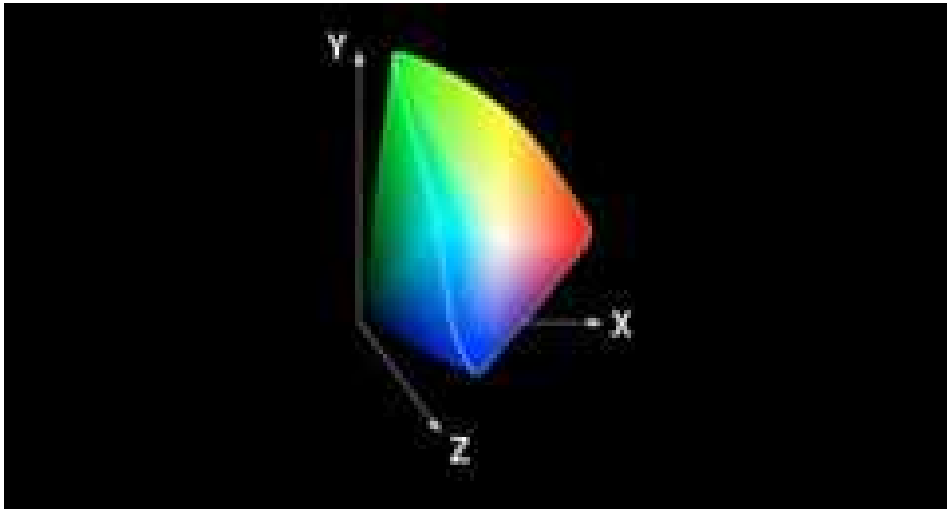


Fig.4. Diagrama cromático del espacio CIE 1931

I.3.3. Espacio cromático CIE1976 (CIELAB)

Aunque en 1931 CIE estableció el estándar de observación recomendando las coordenadas X Y Z, este sistema presenta limitaciones, aunque permite una revisión de los tipos de color en un único plano, una cierta distancia entre los puntos en el diagrama puede corresponder a grandes diferencias en la percepción visual del color y por tanto el CIE tomando en cuenta todos los parámetros y requerimientos de la colorimetría visual establecieron los siguientes sistemas.

El espacio cromático $L^*a^*b^*$ desarrollado en 1976, supone una evolución del espacio cromático XYZ y del diagrama de cromaticidad de

1931, en la medida en que el espacio cromático $L^*a^*b^*$ es más homogéneo en lo que respecta a la percepción.

El espacio Cie $L^*a^*b^*$, presenta un eje vertical que indica la claridad o la oscuridad relativa, y 2 ejes horizontales que reflejan los componentes rojo/verde y amarillo/azul:

L^* : Coordenada vertical que describe la luminosidad, la medida de la claridad de un objeto que comprende desde el 0 (negro) hasta 100 (blanco).

a^* : Coordenada horizontal que describe la medida para la cualidad de rojo ($a > 0$) o de verde ($a < 0$).

b^* : Coordenada horizontal, describe los valores amarillo/azul ($b > 0$) o de azul ($b < 0$).

En las coordenadas a^* y b^* los valores próximos a 0 son colores neutros (blancos, grises) y el aumento de magnitud son colores más saturados o intensos (Joiner 2004).

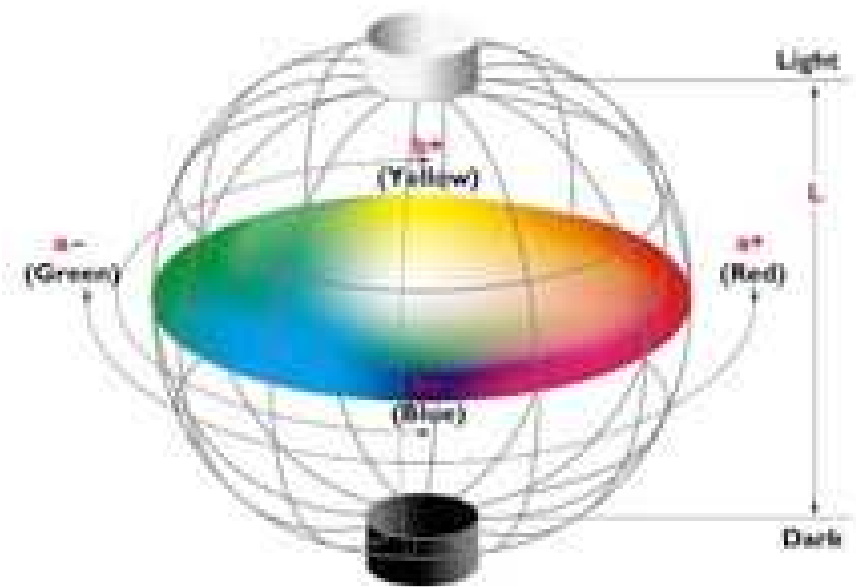


Fig.5. Espacio de color CIELab

La ventaja de este espacio es que las diferencias de color pueden ser expresadas en unidades que van a estar relacionadas con la percepción visual y la significancia clínica (O'Brien 1997).

Las ecuaciones que definen CIELab en función de los valores triestímulo son las siguientes:

$$L^* = 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad \text{para } (Y/Y_0) > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 (Y/Y_0) \quad \text{para } (Y/Y_0) \leq 0.008856$$

$$a^* = 500 [f(X/X_0) - f(Y/Y_0)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0)]$$

X_0, Y_0, Z_0 son los valores para un blanco de referencia para el iluminante/observador usado

Su diferencia de color asociada, ΔE^*_{ab} , viene dada por la distancia euclídea entre dos puntos en el espacio tridimensional, y cuya expresión es:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

donde $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ indica la diferencia en cada una de las coordenadas:

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1$$

$$\Delta a^* = a^*_2 - a^*_1$$

$$\Delta b^* = b^*_2 - b^*_1$$

El espacio de color proporciona una representación tridimensional de la percepción de color. Cuando dos puntos que representan dos mediciones están superpuestos en el espacio, el valor de la diferencia de color es 0. Si la distancia entre dos puntos en el espacio cromático aumenta, suponemos que aumenta la diferencia de color percibida entre los estímulos que desencadenan estos dos puntos.

I.3.4. CIELCH ($L^*C^*h^0$)

El sistema CIE $L^*C^*h^*$ es una representación en coordenadas cilíndrica del espacio cromático $L^*a^*b^*$. C^* o croma es la distancia con respecto al eje vertical (neutro o gris) y h^* (Hue o tonalidad cromática) es el ángulo de desplazamiento medido desde el eje rojo/verde.

Los ejes del espacio cromático $L^*C^*h^*$ son idénticos a los del espacio cromático $L^*a^*b^*$, la diferencia reside en que el primero utiliza coordenadas cilíndricas mientras que $L^*a^*b^*$ usa coordenadas cartesianas.

El sistema $L^*C^*h^*$ definen los tres factores que se utilizan con mayor frecuencia para la definición del color:

L: Valor es la claridad del color. Se trata de la medida de claridad u oscuridad de un color en relación que van desde una serie de tonalidades que van desde el gris que van desde el blanco ($L=100$) hasta negro ($L=0$).

C: Croma es la saturación o intensidad de un color. Es la diferencia entre el color y una tonalidad de gris que posee la misma claridad, medida como distancia con respecto al eje neutro. El croma C^* nos indica si en el diagrama CIELab un estímulo está más o menos cerca del estímulo acromático situado en el centro del diagrama.

h: Hue (tonalidad cromática) es lo que designamos como color. Corresponde a la longitud de onda física de la luz. Se representa como un ángulo que va desde 0° hasta 360° , nos indican la zona del diagrama en la que se encuentra el estímulo, es decir, el tono del mismo. Los ángulos que van desde 0° a 90° son colores rojos, naranjas y amarillos; los ángulos de 90° a 180° son colores amarillos, amarillos verdosos y verdes; los ángulos de 180° a 270° son colores verdes, cian (verdes azulados) y azules, y los ángulos de 270° a 360° son colores azules, lilas y magenta, que pasan de nuevo al rojo al alcanzar los 360° .

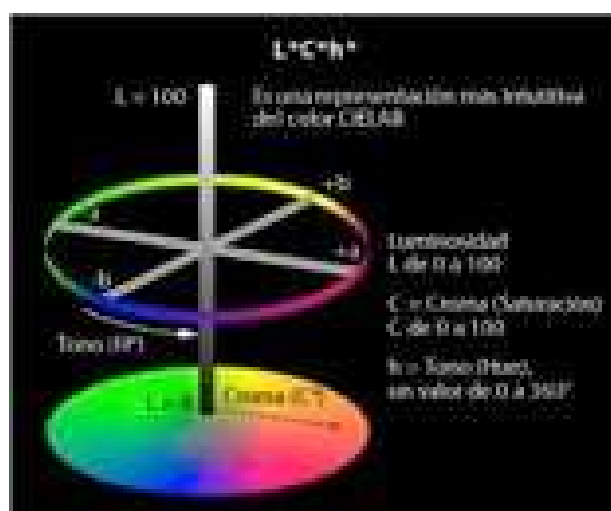


Fig.6. Espacio cromático CIE L*a*b*

Actualmente el uso del CIELab está ampliamente implantado y se utiliza en la práctica industrial. En base a CIELab se han desarrollado muchas de las fórmulas de diferencia de color que actualmente se

emplean, en particular la fórmula CIE94 (CIE 2001) y la fórmula CIEDE2000 (CIE 2004; Luo 2001). En cualquier caso el uso de estas nuevas fórmulas, no reemplaza aún, según la CIE, el empleo de CIELAB como sistema de especificación del color.

I.4.PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS DIENTES

El tercer elemento a tener en cuenta en la percepción del color es el objeto, que en este caso es el diente.

El color de los dientes viene dado por la combinación de sus propiedades ópticas. Al incidir la luz en los dientes, ocurren cuatro fenómenos físicos:

1. Trasmisión especular de la luz a través del diente
2. Reflexión especular en la superficie del diente
3. Reflexión difusa de la luz en la superficie
4. Absorción de la luz por los tejidos dentales

El color dental es el resultado del volumen de dispersión de la luz, que sigue trayectorias de luz muy irregulares a través del diente antes de emerger a la superficie de incidencia y llegar al ojo del observador, por tanto el color es prácticamente el resultado de la absorción a lo largo de la

longitud de la penetración y así es esencial el coeficiente de absorción de los tejidos dentales (Vaarkamp 1995).

Por tanto es fundamental el conocer las propiedades ópticas de los tejidos dentales, debido a que cada uno de los tejidos dentales, esmalte, dentina y pulpa, presentan propiedades ópticas distintas (Touati 2000). La estructura dental influye de forma que los cristales de hidroxiapatita contribuyen de forma significativa en la dispersión de la luz, encontrando que el aumento de la desmineralización aumenta el coeficiente de dispersión, mientras que en la dentina los túbulos son predominantemente la causa de ésta propiedad óptica (Joiner 2004). Hay que tener en cuenta que el color dental está determinado principalmente por el color de la dentina correspondiendo al esmalte un papel secundario a través de la dispersión en longitudes de onda en el rango del azul.

El esmalte es el tejido más duro y mineralizado del organismo. La apariencia óptica del esmalte depende de su composición, estructura, grosor y textura superficial, parámetros que varían de una zona dentaria a otra y que evolucionan a lo largo de la vida. En dientes jóvenes el esmalte tiene un menor contenido mineral y es muy grueso, dando lugar a una ligera translucidez y alta luminosidad, mientras que en los dientes pertenecientes a individuos de mayor edad, el esmalte está más mineralizado y es más delgado debido al desgaste sufrido a lo largo del

tiempo dando lugar a mayor traslucidez dejando de manifiesto el color de la dentina.

La traslucidez del esmalte no es uniforme, su mitad más externa es más translúcida que la interna al ser los prismas del esmalte más densos en esta región. Estas capas permiten que la luz penetre a través de la estructura dental y se refleje sobre la capa de dentina, que es opaca y que es la responsable del color del diente (Touati 2000).

La dentina es el tejido más importante desde el punto de vista cromático, ya que es la responsable del tono y cromatismo del diente. El bajo contenido mineral del diente comparado con el del esmalte y la elevada proporción de materia orgánica, explica la opacidad relativa de la dentina primaria. Está atravesada por un gran número de túbulos dentinarios que producen una difracción selectiva de la luz, de forma que unas ondas serán reflejadas y otras absorbidas, dando lugar a la opacidad de la dentina primaria.

Las distintas estructuras microanatómicas, la arquitectura tubular, combinada con la anatomía macroscópica de la dentina, provocan áreas con diferencias en el índice de reflectancia, dando un reflejo y dispersión no homogéneo de la luz, de forma que existen áreas de opacidad densa y de saturación elevada, dando lugar a un aspecto policromado de la dentina. Con la edad la dentina primaria va evolucionando y se forman

otros tipos de dentina, con diferentes propiedades ópticas que influyen en la cromacidad (Touati 2000).

Otro aspecto a tener en cuenta es la fluorescencia y la fosforescencia del esmalte y de la dentina. La fluorescencia es un fenómeno físico mediante el cual ciertas sustancias absorben energía, emitiéndola nuevamente en forma de luz, esta vez dentro del espectro visible y de un color característico, en función de una longitud de onda determinada. A diferencia de la fosforescencia, la fluorescencia tiene lugar únicamente mientras dura el estímulo que lo provoca, es decir, que una vez que desaparece la irradiación, desaparece la emisión. En cambio, la fosforescencia es un proceso más lento, siendo el resultado del proceso de absorción de la energía que una vez almacenada, permitirá la posterior emisión en forma de luz o de otro tipo de radiación electromagnética. Los pigmentos orgánicos presentes en la microestructura de la dentina son responsables de la fluorescencia de este tejido, es decir, de su capacidad de absorber en el rango ultravioleta y emitir en visible, una luz fluorescente policromática con una longitud de onda aproximada entre 400-410nm. Este fenómeno se evidencia en algunas situaciones, como por ejemplo, cuando los dientes naturales son vistos bajo la luz ultravioleta de la iluminación de las discotecas.

El color de los dientes está determinado por coloraciones intrínsecas y extrínsecas. El color intrínseco viene dado por las propiedades de

dispersión de la luz y la absorción del esmalte y de la dentina. El color extrínseco está asociado con la absorción de los materiales dentro de la superficie de los materiales sobre la superficie del esmalte. Su color es debido a la mezcla de diferentes colores, presentando una gradación natural del color desde el tercio gingival más oscuro hasta el tercio incisal, más claro, debido al grosor y translucencia del esmalte y de la dentina, así como por la reflectancia de diferentes colores. Fundamentalmente está determinado por el color de la dentina, pero está influenciado por el color, translucidez, y grado de calcificación del esmalte, así como el grosor que es menor a nivel oclusal e incisal. Si el esmalte es muy delgado y la dentina es muy saturada, como sucede en la zona del cuello del diente, entonces la cromaticidad de la dentina domina la percepción cromática del diente. Si avanzamos en dirección incisal, a nivel del tercio medio, el esmalte es más grueso por lo que aumenta el valor y disminuye la cromacidad. Finalmente en el tercio incisal, sólo hay esmalte, lo que condiciona las cualidades ópticas únicas de esta zona. A este nivel, el diente se vuelve translúcido, prácticamente acromático, y presenta opalescencia, es decir, refleja las longitudes de onda más cortas (aspecto azulado con luz reflejada) y transmite las largas (aspecto anaranjado con luz transmitida) (Joiner 2004).

Existe variación de color dentro de los diferentes grupos de dientes de la arcada, y con respecto a otros factores como la edad; así los caninos son dientes más oscuros que los incisivos laterales y centrales, y los

dientes más claros son los dientes jóvenes, especialmente la primera dentición, oscureciéndose gradualmente con la edad.

El color normal de los dientes está determinado por los tintes azules, verdes y rosas del esmalte y por el tono de la dentina que varía desde el amarillo al marrón (Sulieman 2008).

I.5. ESPACIO CROMÁTICO DENTAL

El espacio cromático que corresponde a los dientes naturales es un subespacio en forma de plátano dentro de los sistemas CIELAB y CIELCh, situado entre el rojo claro y el amarillo claro extendiéndose verticalmente en relación al eje de luminosidad. Los colores dentales más intensos se encuentran en la curvatura externa del plátano, más alejados del eje central L incoloro; los dientes con un matiz rojizo se encuentran hacia el eje a; los dientes con un matiz amarillento, hacia el eje b. Comparando los valores de los colores (es decir, las indicaciones de la posición en el espacio cromático) del diente más claro existente en la naturaleza con los del diente más oscuro, en el sistema $L^*a^*b^*$ se obtienen los valores de referencia de 78/1/12 y 62/6/31, respectivamente (Baltzer 2004).

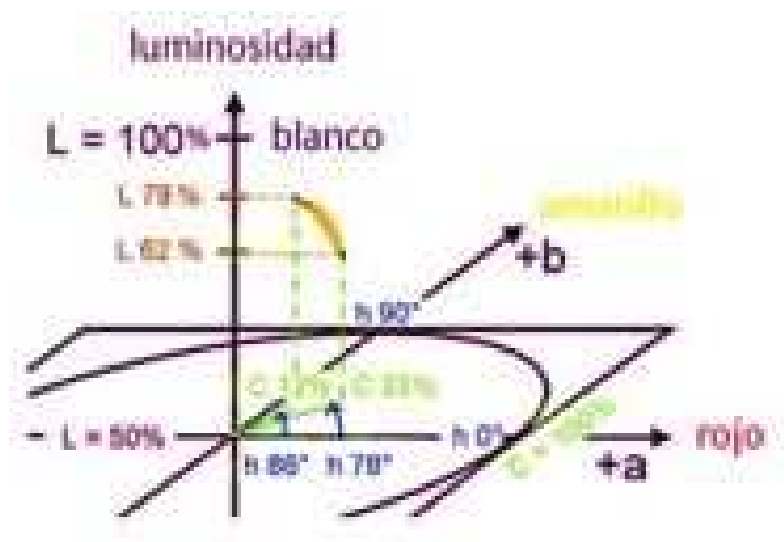


Fig. 7. Disposición del sub-espacio de color dental

El rango y la distribución del color en diferentes regiones de los dientes han sido ampliamente descritas. En general, los dientes anteriores del maxilar son ligeramente más amarillos que los dientes mandibulares anteriores (Goodkind 1987).

El color de los dientes naturales tienen una tendencia al incremento con la edad del individuo, generalmente se vuelven más oscuros y amarillos. El impacto de la edad en el color de los dientes es debido a diversos factores, así con la edad se va formando dentina secundaria, ésta dentina es más dura y menos permeable, además existe la hipótesis de que pigmentos e iones de naturaleza orgánica e inorgánica, penetran a través del esmalte depositándose en la unión amelodentinaria y dentro de la estructura dentinaria, dando lugar a un color de la dentina más

saturado, y ésto combinado con la disminución en el grosor del esmalte, da lugar a que el color de la dentina empiece a ser prevalente, lo que resulta en el progresivo oscurecimiento del diente con la edad.

El tercio medio del diente es la zona que mejor representa el color de los dientes, debido a que el tercio incisal es frecuentemente más translucido y el tercio gingival es modificado por la luz dispersada desde la encía (Joiner 2004).

Además del valor, matiz y croma, otras propiedades ópticas secundarias de los dientes que pueden afectar la apariencia del diente son la translucidez, opacidad, iridiscencia, brillo de superficie y fluorescencia. La translucidez y opacidad son las más importantes dentro de estas propiedades secundarias, ya que son un indicador de la calidad y cantidad de la reflexión de la luz (Winter 1993). La iridiscencia produce un efecto de arco iris en el objeto que se está viendo, variando en grado dependiendo de la dirección, localización e iluminación de un objeto, y depende de la longitud de onda de dispersión, difracción e interferencia de la luz. El brillo de superficie afecta la apariencia y vitalidad de los dientes. La morfología de la superficie dental afecta la cantidad y tipo de la reflexión, así una superficie rugosa permite reflexión difusa, mientras que una superficie lisa permite reflexión especular (Joiner 2004). Por tanto, el color dental es un fenómeno complejo con muchos factores que influyen en la percepción del color dental.

I.6.MEDICIÓN DEL COLOR DENTAL

La toma de color es un procedimiento complejo por la introducción de las variaciones individuales debidas a la percepción del color del individuo que realiza la medición, lo que hace que a lo largo del tiempo haya sido abordado desde diferentes puntos de vista.

Para evaluar el color en odontología se han usado:

Métodos subjetivos o psicofísicos, basados en la comparación del color con guías de referencia:

- Guías de color.
- Mapas cromáticos.
- Registros fotográficos

La determinación del color por la comparación de los dientes con guías de color es el método más frecuentemente usado para el conocimiento del color de los dientes. Es un proceso subjetivo en que ambos, dientes y guía, son observados simultáneamente bajo las mismas condiciones de iluminación.

Variables como las condiciones de iluminación externas, experiencia, edad, y fatiga del ojo humano y variables fisiológicas, como el daltonismo pueden dar lugar a la introducción de muchas variables en el proceso, lo

que puede dar lugar a mediciones no demasiado fiables o inconsistentes. En general, el color básico de un diente está presente en sólo el tercio medio debido a la amplia gama de cambios de color de las áreas incisal y gingival , y el observador experimentado debe entrenarse a sí mismo para centrarse en esa área (Okubo 1998).

Además las guías de color presentan varias desventajas, así el rango de color disponible no es el adecuado y no cubre el espacio de color completo del diente natural, los resultados no pueden ser transformados en la escala de color CIE Lab, y ninguna de las guías disponibles son idénticas.

2.Métodos objetivos, que representan los colores del espectro visible de forma numérica. Para la medición del color es necesario un instrumento que consta de las siguientes partes:

- sensor óptico
- procesador de señal

Los instrumentos de medición constan de un sensor óptico (espectrofotómetro, colorímetro y densitómetro) que percibe la onda de luz reflejada desde la muestra con referencia a la reflejada a partir de un difusor perfecto (sulfato bórico o óxido de magnesio) como un valor numérico. Estos valores son puntos a través del espectro visible y son datos espectrales, que se van a representar a través de una curva

espectral. Una vez obtenida se multiplican los datos por el CIE estándar de iluminación y así convertiremos el color en un espacio de color.

Para obtener las medidas triestímulo el proceso se basa en la comparación visual de un color en condiciones estandarizadas con los tres colores primarios: rojo, verde y azul.

Debemos tener en cuenta previamente la diferencia entre fuente de luz e iluminante. "Fuente de luz" es un concepto genérico para la fuente de emisión de radiación electromagnética visible, por ejemplo una bombilla. Debido a que el color percibido de algunos objetos varía bajo condiciones de luz distintas, la especificación exacta del color de un objeto requiere la definición de la fuente de luz. "Iluminante" es la especificación de una fuente de luz concreta. Cada fuente de luz tiene una distribución de energía que afecta al modo en que vemos el color. Como ejemplos de los diferentes iluminantes, tenemos A-incandescente, D65-luz de día y F2-fluorescente.

Para la medición del color de los dientes, se usan 2 tipos básicos de aparatos, colorímetros y espectofotómetros.

Un colorímetro utiliza 3 filtros, correspondientes a los valores máximos en las tres gamas de ajuste cromático. Mide directamente los valores XYZ de la muestra bajo el iluminante, y a partir de éstos se calculan los valores $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$ para la fuente de luz concreta empleada. Dado

que un colorímetro no registra la totalidad de los datos espectrales, no se puede transmitir con precisión la información obtenida para mostrar la repercusiones sobre $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$ por diversos iluminantes (Devigus 2004).

Un espectrofotómetro cubre todo el espectro de la luz visible en la gama desde 380 nm hasta 720 nm (Devigus 2004). A partir de este espectro y usando las funciones de ajuste cromático del observador estándar y el espectro del iluminante, se calculan las funciones cromáticas XYZ, y a continuación los valores $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$. Mediante la modificación del espectro del iluminante se pueden calcular los valores $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$ con objeto de mostrar la repercusión que la variación de la fuente de luz tiene sobre la percepción del color. Es una diferencia esencial entre un colorímetro y un espectrofotómetro (Joiner 2006).

Los colorímetros generalmente están diseñados para medir el color en X, Y, Z o en valores CIE Lab.

Los espectrofotómetros miden una longitud de onda en un momento desde la reflectancia (capacidad de las superficies de reflejar la luz , la medida de la reflexión es la reflectancia que se define como la relación entre el flujo luminoso incidente; la reflexión puede ser dirigida o difusa) o transmitancia (capacidad de los materiales de transmitir la luz, la medida de la transmisión es la transmitancia; es la relación entre el flujo luminoso transmitido y el flujo luminoso incidente; la transmisión puede ser dirigida

o difusa) de un objeto y ha sido usado para medir el espectro visibles de dientes extraídos y vitales. Estos aparatos registran el área de longitudes de onda de la luz visible entre 380 y 720nm en pequeños intervalos de longitudes de onda.

El Vita Easyshade es el más popular. Este espectrofotómetro, portátil y digital, está integrado por una unidad central con pantalla y por un terminal con una fuente de luz y un lector. Este terminal presenta unas fibras ópticas para la iluminación de la superficie (halógenas) y tres espectrómetros para el proceso de medida. Uno monitoriza la emisión de la luz mientras que los otros dos miden la luz dispersa por el diente a dos distancias diferentes al punto donde incide para evitar el "scattering" en lo posible. Compara los colores de la guía Vitapan 3D Master® y la Vitapan Classical®.

II.BLANQUEAMIENTO DENTAL

Debido a la demanda de Odontología estética en los últimos años, el blanqueamiento dental se ha convertido en uno de los tratamientos estéticos más populares, ya que es una técnica efectiva, conservadora, simple y permite conseguir buenos resultados estéticos, permitiendo la corrección adecuada de la mayoría de las discoloraciones dentarias.

La discoloración dentaria es una alteración en el color de los dientes y supone una modificación, incremento o pérdida del color dental, de carácter fisiológico o patológico (Amengual 2002).

El patrón de estética dental presente en nuestra sociedad está representado por una sonrisa con dientes de color claro y armónicos con los tejidos blandos, pero siempre teniendo en cuenta que la estética se concibe de modo personal y subjetivo.

Hoy en día, una de las razones por la que los pacientes solicitan este tipo de tratamiento es la presencia de tinciones en los dientes anteriores y el interés por conseguir un aclaramiento del color. Estos dientes pueden ser tratados, con diferentes técnicas restaurativas como carillas de composite, carillas de porcelana o coronas de cerámica, o con blanqueamiento como técnica más conservadora, ya que no causa pérdida de tejido dentario, no altera la forma natural del diente, no dificultan la higiene, son sencillos de realizar, tienen muchas veces un coste menor, y generalmente produce un resultado casi inmediato.

Las primeras muestras de la importancia del color dental datan de hace aproximadamente unos 2000 años. Ya en la época del imperio romano se realizaban enjuagues con orina para poder conseguir un color más blanco de dientes. En el siglo XIV el tratamiento dental más demandado después de las extracciones era el blanqueamiento dental que realizaban desgastando el esmalte con limas metálicas muy gruesas y

aplicando sobre este esmalte ác. nítrico. El primer informe sobre el blanqueamiento de dientes vitales data de 1877 en el que el agente usado era ácido oxálico. En 1884, Harlam publicó la que se considera como la primera comunicación sobre el empleo del peróxido en el blanqueamiento. En 1895 diversos profesionales empleaban una mezcla de peróxido de hidrógeno, éter y electricidad para conseguir aclarar los dientes. Rosental, en 1911 sugirió el empleo de ondas ultravioletas. Como tratamiento para la fluorosis fue introducido el ácido clorhídrico en 1916. Abbot en 1918 empleó luz de alta intensidad que genera un aumento de la temperatura del peróxido de hidrógeno, acelerando el proceso de blanqueamiento. En 1937 se combinaban 5 partes de peróxido de hidrógeno al 100% con una parte de éter y calor. El mismo método fue usado en 1939 pero empleando una concentración de peróxido de hidrógeno al 30%. En 1966 se introdujo el uso de ác. clorhídrico y peróxido de hidrógeno. En 1970 se demostró que el peróxido de hidrógeno también permitía el tratamiento de los cambios de color de la dentina. De todas formas la técnica de blanqueamiento recibe la aceptación mundial cuando es descrita en 1989 por Haywood y Heyman, que emplearon peróxido de carbamida al 10%, en una cubeta y para uso nocturno (Haywood, 1989).

Por tanto, el tratamiento de blanqueamiento es un problema antiguo y no exclusivo de la sociedad actual, y que ha ido evolucionando y modificándose a lo largo de los años, permitiendo la aceptación general y

el éxito de las técnicas de blanqueamiento. Hoy en día, representan métodos conservadores y efectivos para eliminar los cambios de color en dientes vitales y no vitales y así conseguir un resultado estéticamente aceptable.

Para prever el fracaso o el éxito es muy importante realizar una correcta anamnesis, estudio clínico y radiológico. El éxito va a estar en función de la naturaleza de la tinción, siendo imprescindible la necesidad de un correcto diagnóstico para poder aplicar la técnica de blanqueamiento adecuada. Este estudio completo nos permitirá elegir el tipo blanqueamiento más correcto para conseguir los mejores resultados.

II.1.DISCOLORACIONES DENTALES

El blanqueamiento es un tratamiento estético que va a permitir conseguir un color más claro en aquellos dientes que presentan algún tipo de tinción, sin alteraciones de la forma o bien simplemente se aplicará con la intención de conseguir un aclaramiento de la sonrisa, convirtiéndose por tanto en un tratamiento muy adecuado gracias a su carácter conservador.

El color dental viene dado por una combinación de fenómenos asociados con propiedades ópticas y de luz. Fundamentalmente el color del diente viene determinado por las propiedades ópticas del esmalte y de la dentina y su interacción con la luz, y por las coloraciones extrínsecas

debidas a la absorción de materiales en la superficie del esmalte e intrínsecas, debido a la presencia de cromógenos en los tejidos dentarios.

Las anomalías del color dental pueden ser por causas múltiples y variadas, afectando de igual manera a dientes vitales y no vitales, pudiendo además estos últimos presentar tinciones por causas asociadas a tratamiento endodóncico y además complicar las discoloraciones específicas de los dientes vitales.

La decoloración se diferencia en etiología, apariencia, localización, severidad y afinidad a la estructura dental y puede ser clasificada como intrínseca, extrínseca, o la combinación de ambas, en función de su localización y etiología. En la exploración previa al tratamiento es importante determinar, la superficialidad de la tinción y el grado en que cualquier coloración intrínseca está complicada por factores extrínsecos (Sulieman 2008).

II.2.CLASIFICACIÓN DE LAS DISCOLORACIONES

Se conoce como discoloración dentaria a la alteración del color de los dientes que supone una modificación, incremento o pérdida del color dental de carácter fisiológico o patológico (Amengual 2002). Las discoloraciones varían en etiología, apariencia, localización, gravedad y adhesión a la estructura dentaria. Pueden ser extrínsecas, intrínsecas o una combinación de ambas (Dahl y Pallesen, 2003)

1.Coloraciones extrínsecas:

1.1. Tinción directa

1.2. Tinción indirecta

2.Coloraciones intrínsecas:

2.1Causas sistémicas: preeptivas

posteruptivas

2.2.Causas locales

II.2.1.COLORACIONES EXTRÍNSECAS

La afinidad de los materiales por la superficie del diente juega un papel crítico en el depósito de las tinciones extrínsecas. Existen un amplio rango de interacciones como fuerzas electrostáticas y de Van der Waals y otras interacciones como fuerzas de hidratación, interacciones hidrofóbicas y enlaces de hidrógeno (Scannapieco, 1990), que permiten a los cromógenos acercarse a la superficie dental y determinar si ocurrirá adhesión. La afinidad de los cromógenos varía con el material, y el mecanismo que determina la fuerza de adhesión no es totalmente conocido (Nathoo, 1997).

Las **coloraciones extrínsecas** pueden ser de dos tipos:

- **directa**, por la incorporación de sustancias dentro de la película

dentaria que provocan manchas como resultado directo del color básico de los cromógenos.

- **indirecta**, debido a la interacción química en la superficie del diente con otro componente dando lugar a la alteración del color.

II.2.1.1 Coloraciones extrínsecas directas

Estas alteraciones del color son debidas a un agente colorante que teñirá la superficie del diente, siendo los más habituales el tabaco, el café y el te. El tabaco dará lugar a un color entre el marrón-amarillento y el negro, sobre todo a nivel cervical y en las superficies linguales. El café y el te provocarán coloraciones marrones o negras. Se cree que son los compuestos polifenólicos presentes en los alimentos los que dan lugar al color de la tinción (Sulieman 2008), que son absorbidos por la superficie dental por incorporación a la placa o película adquirida.

Otras tinciones directas son aquellas causadas por la placa bacteriana, de origen microbiano, muy frecuentes y cuya manifestación clínica varía desde discoloraciones negras a nivel cervical, sobre todo en dientes temporales, hasta las de color verde, naranja u otros colores menos frecuentes, pero con desconocimiento del mecanismo que las provoca (Watts 2001).

II.2.1.2. Coloraciones extrínsecas indirectas

Con las tinciones indirectas se observan cambios de coloración de la placa debido al depósito de metales presentes en el medio ambiente laboral, como tinciones negras que afectan a trabajadores en fundiciones de hierro o a aquellos individuos con suplementos orales de este mismo metal, y por antisépticos catiónicos, fundamentalmente colutorios de clorhexidina que provocan coloraciones marrones o negras (Forner 2004).

Las alteraciones extrínsecas del color son fácilmente removibles. El procedimiento empleado para remover la tinción desde la superficie de un diente es mediante el uso de pastas abrasivas o una combinación de abrasivos y pastas dentales. Estos métodos previenen la acumulación de manchas y su remoción, aunque la eliminación satisfactoria de las manchas depende fundamentalmente de la etiología de la decoloraciones.

II.2.2. COLORACIONES INTRÍNSECAS

Causas sistémicas:

Fluorosis

Tinción por tetraciclinas

Alteraciones endocrinas

Amelogénesis imperfecta

Dentinogénesis imperfecta

Porfiria eritropoyética congénita

Fibrosis quística

Enfermedades hematológicas

Enfermedades endocrinas

Causas locales:

Necrosis pulpar

Hemorragia intrapulpar

Tejidos pulpaes remanentes

Materiales endodóncicos

Materiales de relleno coronario

Resorción radicular

Edad

Las decoloraciones intrínsecas son debidas a la presencia de material cromogénico dentro del esmalte o la dentina, incorporado durante la odontogénesis o después de la erupción, dando lugar por tanto a tinciones preeruptivas y posteruptivas.

II.2.2.1.Causas sistémicas

II.2.2.1.1.Fluorosis

Es la causa más común de tinción preeruptiva debido a la ingesta excesiva de flúor durante la etapa de formación y de calcificación de la matriz del esmalte. La fluorosis se manifiesta con pequeños puntos blancos, zonas opacas, manchas amarillas o marrones e incluso irregularidades superficiales en el esmalte. Suele ser bilateral y afecta a varios dientes de la arcada. Sus manifestaciones clínicas son variadas desde pequeños punteados blancos hasta discoloraciones de aspecto marrón negruzco. Lo que se produce realmente es una hipoplasia de esmalte y la coloración oscura es debida a pigmentación extrínseca.

La fluorosis puede necesitar la combinación de blanqueamiento y microabrasión usando ácido clorhídrico.

II.2.2.1.2. Tinción por tetraciclina

Ocurre durante la dentinogénesis, debido a la interacción del antibiótico con los iones de calcio de la superficie de los cristales de hidroxiapatita durante la fase de mineralización mediante un proceso de quelación y a la posterior incorporación a los cristales de hidroxiapatita

durante la fase de mineralización del diente. La mayor parte de la tetraciclina se acumula en la dentina debido a la mayor superficie de los cristales dentinarios de apatita, aunque el esmalte también es afectado. Concretamente es debido a una ingesta a dosis mayores de 21 mg/Kg de peso /día desde la vigésimo novena semana de embarazo hasta los 7 años de edad (Forner 2004).

Las manchas de tetraciclinas pueden ser amarillas, amarillo-marrón, marrón, gris o azul, afectando de forma bilateral y a varios dientes de la arcada.

Las manchas se clasifican en 3 grupos:

1. Manchas de primer grado. Son amarillas, marrones o grises claras. Afectan de forma uniforme a toda la corona clínica y no forman franjas.

2. Manchas de segundo grado. Tienen mayor variabilidad en las manchas, desde una coloración intensa amarilla a decoloración gris en forma de bandas con una marcada diferencia entre la región cervical y la porción cervical de la corona.

3. Manchas de tercer grado. La coloración de éstas es muy intensa y generalmente forman bandas. Son las de peor pronóstico (Sulieman 2008).

La pigmentación amarilla producida por la tetraciclina oscurece lentamente y se vuelve marrón o gris marrón tras la exposición al sol, es por ello que los dientes anteriores oscurecen antes que los posteriores. Las manchas de color amarillo, amarillo-marrón, y marrón responden mejor al blanqueamiento que las de color azul-grisáceo y gris. Si el diente presenta una combinación de colores, las manchas azul y gris pueden permanecer en parte aunque las otras mejoren considerablemente. Además los dientes con manchas menos intensas se blanquean más fácilmente, al igual que dientes con manchas difusas, siendo bastante peor el resultado en aquellos que presentan bandas. Manchas muy severas de tetraciclinas probablemente requieran un tratamiento combinado, como por ejemplo mediante blanqueamiento y carillas de porcelana. Mediante el blanqueamiento previo se reduce la cantidad de diente que se necesita remover para la reparación protésica, para enmascarar la tinción.

II.2.2.1.3. Amelogénesis imperfecta

Es una alteración hereditaria en la que se ve alterado la mineralización o la formación de la matriz del esmalte. La apariencia puede variar dependiendo del tipo desde el esmalte hipoplásico con un color que va desde el amarillo al amarillo-marrón o puede estar ligeramente hipomineralizado, dependiendo del tipo de amelogénesis, variando el color del diente en función del grado de hipomineralización, siendo más oscuro cuánto más severa.

II.2.2.1.4. Dentinogénesis imperfecta

Consiste en una alteración hereditaria del desarrollo de la dentina, asociada o no a osteogénesis imperfecta. Existen diferentes tipos:

Tipo I: Asociada a osteogénesis imperfecta, y caracterizada por la opacidad de los dientes primarios.

Tipo II: Puede ser más opaca en los dientes primarios que en la dentición definitiva. Clínicamente la coloración es ámbar, de gris a púrpura-azul.

Tipo III: La apariencia es similar al tipo I y II, pero con múltiples exposiciones pulpaes en la dentición primaria (Sulieman 2008).

II.2.2.1.5. Porfiria eritropoyética congénita

Enfermedad hereditaria en la cual existen depósitos de uroporfirinógeno I, que pueden causar manchas preeruptivas debido a la presencia de sangre coagulada dentro de los túbulos dentinarios, presentando en este último caso coloraciones pardo-rojizas y fluorescencia anaranjada-roja frente a la luz ultravioleta.

II.2.2.1.6. Fibrosis quística

Es frecuente observar dientes pardos, grisáceos, en niños con fibrosis quística, que puede ser consecuencia de la propia patología o del tatamiento usado en la infancia (tetraciclinas a altas dosis) o a ambas cosas.

II.2.2.1.7. Enfermedades hematológicas

- Eritroblastosis fetal: Los dientes temporales presentan coloración amarillo verdosa

- Anemia ferropénica: Produce una alteración cromática dando al diente un aspecto azul blanquecino.
- Anemia drepanocítica: Produce una discoloración marrón.
- Talasemia.

II.2.2.1.8. Enfermedades endocrinas

- Hipotiroidismo: los dientes pueden presentar una discoloración amarillo-marrón.
- Hipertiroidismo: los dientes pueden tener un color blanco azulado o gris.
- Hiperadrenalismo: con color amarillo claro en los dientes que tiende incluso al rosa.
- Hipoadrenalismo: origina un cambio de color de los dientes de aspecto verdoso, ocronosis, alcaptonuria
- Ocronosis: se encuentra una discoloración marrón en los dientes debido al depósito de pigmentos oscuros.

II.2.2.2. Causas locales

II.2.2.2.1. Necrosis pulpar

La irritación mecánica, bacteriana o química del tejido pulpar puede dar lugar a necrosis tisular, causando la liberación de productos tóxicos que penetran en el interior de los túbulos y provocan cambio de coloración del diente. El grado de tinción está relacionada con la antigüedad de la necrosis pulpar, cuánto más tiempo estén presentes los compuestos decolorantes en la cámara pulpar, mayor será el cambio de color del diente.

II.2.2.2.2. Hemorragia intrapulpar

La extirpación pulpar o un trauma severo puede causar hemorragia, debido a la ruptura de vasos, y por tanto, la penetración de componentes sanguíneos en el interior de los túbulos dentinarios, dando lugar a la tinción de la dentina subyacente. Inicialmente se puede observar un color rosado de la corona debido a la hemólisis de las células sanguíneas, esto combinado con tejido pulpar en putrefacción forman hierro que puede reaccionar con el sulfato de hidrógeno producido por las bacterias dando lugar a sulfato férrico que provocará una coloración gris de la estructura dental. Estudios in vitro han demostrado que la principal causa de decoloración de dientes traumatizados y no infectados, es la acumulación de moléculas de hemoglobina u otras moléculas hemáticas (Marin 1997).

Si el trauma es la causa de necrosis pulpar, la decoloración será más severa con el tiempo. Si no se produce necrosis, la decoloración puede

revertir y el diente puede volver a su color original, porque se demostró que el tono rosado que se observa inicialmente después de un traumatismo podría desaparecer en 2-3 meses si el diente es revascularizado (Andreasen FM, 1986; Watts, 2001).

II.2.2.2.3. Tejido pulpar remanente

Los mismos sucesos que ocurren durante la hemorragia pulpar causada por un trauma pueden ocurrir durante la extirpación pulpar, además si la cavidad de acceso es inadecuada quedarán restos de tejido pulpar en el interior de la cámara. Éstos tejidos se desintegran gradualmente y los componentes sanguíneos pueden penetrar en el interior de los túbulos dando lugar a tinción (Plotino, 2008).

II.2.2.2.4. Materiales endodónticos

La remoción incompleta de los materiales de relleno y materiales de sellado de la cámara pulpar puede provocar decoloración de los dientes tratados endodónticamente, debido a que estos materiales están en contacto directo con la dentina durante periodos prolongados de tiempo lo que propicia su penetración en el interior de los túbulos dentinarios.

Aunque el blanqueamiento intracoronario es el tratamiento de elección, el pronóstico varía en función del tipo de sellante y de la

antigüedad de la decoloración, así las manchas producidas por iones metálicos son muy difíciles de eliminar mediante un tratamiento de blanqueamiento. De todas formas es necesario la remoción de todos los remanentes usando fresas para la limpieza de la paredes de la cámara previo al blanqueamiento.

II.2.2.2.4. Materiales de relleno coronario

La microfiltración de los viejos composites pueden causar decoloraciones oscuras de los márgenes y con el paso del tiempo, de los tejidos dentales. El relleno de los dientes anteriores y premolares endodonciados con amalgama pueden dar lugar a una coloración grisácea de la dentina. Este tipo de tinción es muy difícil de blanquear y tiende a reaparecer a lo largo del tiempo. Algunas veces la apariencia oscura de la corona es causada sólo por las restauraciones de amalgama que se transparentan a través de la estructura dental. En muchas ocasiones es solucionado con la eliminación de la amalgama y la colocación de una restauración estética en su lugar (Rostein 2002).

Otro problema es la colocación de postes metálicos que podrían causar decoloración debido a la liberación de iones metálicos o por la transparencia del esmalte.

II.2.2.2.6. Resorción radicular

Esta patología podría ocasionar una coloración rosada a nivel de la línea amelodentinaria que puede servir para el diagnóstico diferencial de la etiología de esta alteración del color.

II.2.2.2.7. Edad

Durante el proceso fisiológico de envejecimiento se produce la deposición de dentina secundaria y terciaria lo que afecta a la transmisión de la luz del diente , dando lugar a un oscurecimiento gradual del diente (Wats 2001), proceso al cual se añaden los cambios sufridos por el esmalte tanto en textura como por adelgazamiento, lo que provocará un aumento en la opacidad del diente (Sulieman 2008).

II.3. INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES BLANQUEAMIENTO

II.3.1.Indicaciones

Está indicado en discromías leves o moderadas, ya que aunque prácticamente todos los pacientes pueden blanquear sus dientes, no en

todos los casos está garantizado el éxito o bien el poder conseguir satisfacer las necesidades estéticas del paciente. En concreto, siguiendo la indicaciones de Sulieman (Sulieman 2008), las discoloraciones en las que está indicado son:

- Tinciones generalizadas
- Envejecimiento
- Tinciones por tabaco, comida, café y te
- Fluorosis
- Tinción leve o moderada por tetraciclinas
- Fluorosis
- Tratamientos prerestaurativos y postrestaurativos

II.3.2. Contraindicaciones

(Sulieman 2008; Amengual 2002)

- Elevadas expectativas del paciente
- Lesiones periapicales
- Embarazo y lactancia
- Sensibilidad, cracks, fisuras y dentina expuesta
- Defectos en la formación del esmalte
- Recesiones importantes con exposición radicular
- Caries dental
- Pacientes con mala higiene oral

- Pacientes fumadores que no abandonarán el hábito durante el tratamiento.

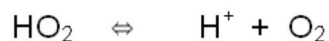
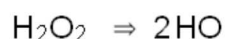
El tratamiento de blanqueamiento presenta varias limitaciones, de forma que tenemos que tener en cuenta que en condiciones normales los dientes pueden blanquear entre 2 y 4 tonos de la escala cromática, pero lo hacen de una forma homogénea, de forma que en una tinción por tetraciclina el diente responde aclarando las bandas pero sin eliminarlas. El resultado que se obtiene es limitado, es decir, que una vez alcanzado cierto punto de blanqueamiento, el gel ya no tiene efecto. A esto hay que añadir que su efecto a lo largo del tiempo no es indefinido, ya que un tiempo después de haber terminado el tratamiento se empieza a producir una cierta recidiva, aunque se puede prevenir con una dosis de recuerdo como mantenimiento.

III. TRATAMIENTOS DE BLANQUEAMIENTO

El efecto blanqueante ocurre como consecuencia de la rotura de la cadena de polipéptidos debido a la destrucción de aminoácidos que son parte de la estructura de las moléculas orgánicas pigmentadas. El blanqueamiento está basado hoy en día en el peróxido de hidrógeno como agente activo, aplicado directamente, u obtenido por una reacción química a partir de perborato de sodio o peróxido de carbamida. Actúa como un

agente fuertemente oxidante a través de la formación de radicales libres, como radicales hidróxilo y perhidróxilo, moléculas de oxígeno reactivo y los aniones de peróxido de hidrógeno (Sulieman 2008). Estas moléculas atacan las moléculas cromóforas y las convierte en moléculas más pequeñas, menos coloreadas y más fácilmente difundibles. El peróxido de carbamida también libera urea que puede descomponerse en dióxido de carbono y amonio (Fig. 8). El elevado pH del amonio facilita el proceso de blanqueamiento, esto puede ser explicado porque en una solución básica, se necesita una menor energía de activación para la formación de radicales libres desde el peróxido de hidrógeno y el porcentaje de reacción es elevado. El éxito del tratamiento de blanqueamiento depende principalmente de la concentración del agente blanqueante, la capacidad del agente para reaccionar con las moléculas cromóforas, y la duración y número de veces que el agente estuvo en contacto con éstas (Dahl, 2003). Kawamoto y Tsujimoto (2004) exponen la importancia de que los agentes blanqueantes tengan un peso molecular bajo para poder penetrar dentro de la dentina y el esmalte removiendo parcial o totalmente los pigmentos.

a. Radicales libres formados desde el peróxido



b. Moléculas de oxígeno reactivo formados desde el peróxido



c. Aniones de peróxido de hidrógeno

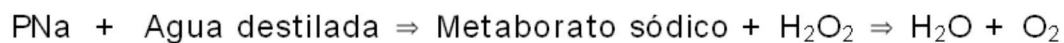
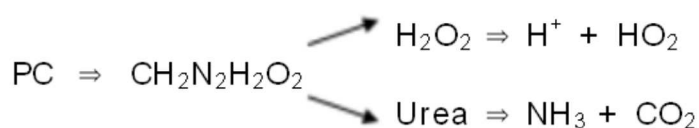


Fig.8. Mecanismo de acción de los agentes blanqueantes

El blanqueamiento dental es una alternativa conservadora para el tratamiento de las discoloraciones dentales para conseguir un color que satisfaga las necesidades estéticas del paciente.

Existen diferentes tipos de tratamiento de blanqueamiento, que permitirán solucionar tras un diagnóstico correcto muchas de las alteraciones de color. La principal diferencia entre los diferentes tratamientos de las decoloraciones dentarias radica en la vitalidad o no de

los dientes a tratar, por un lado tenemos el blanqueamiento vital, que se realiza sobre dientes vitales y por otro lado está el blanqueamiento no vital, que se realiza sobre dientes endodonciados.

BLANQUEAMIENTO VITAL

Blanqueamiento profesional, realizado completamente en la clínica

Blanqueamiento ambulatorio

Blanqueamiento combinado

BLANQUEAMIENTO PARA DIENTES DESVITALIZADOS

III.1.BLANQUEAMIENTO VITAL

III.1.1.Blanqueamiento profesional

El blanqueamiento profesional se emplea para el tratamiento en clínica de dientes vitales, utilizando peróxido de hidrógeno al 30-35% en líquido o en gel. Mediante esta técnica se pretende la liberación rápida del oxígeno presente en el agente blanqueante gracias a un sistema físico capaz de liberar energía, como puede ser la activación con luz, o debido a la reacción química provocada por la mezcla de dos geles, o bien por la utilización de un sistema de activación dual.

La activación puede ser con diferentes fuentes de energía, como la lámpara de luz halógena, aplicándola sobre 30" en cada diente. La lámpara de plasma de arco tiene la ventaja de que permite la total iluminación de las dos arcadas al mismo tiempo.

Otra fuente de energía empleada es el láser de diodo con longitudes de onda de 830 y 980 nm en combinación con gel de peróxido de hidrógeno del 35-50%.

El principal problema es la generación de calor y su efecto sobre la pulpa. Recientes estudios muestran que la mayoría de las lámparas empleadas para el blanqueamiento provocan un aumento de la temperatura por debajo del aumento crítico de 5,5° que provoca daños irreversible sobre la pulpa. Las lámparas basadas en láser fueron las únicas lámparas que se encontraron que podría provocar un incremento de temperatura que daría lugar a daño pulpar, pero se puede reducir esta temperatura si se reduce la potencia de 3 a 2W (Sulieman 2006).

III.1.2. Tratamiento ambulatorio

Desde que en marzo de 1989 se presentó por Haywood y Heymann, mediante un artículo científico, el blanqueamiento de dientes vitales

usando peróxido de carbamida al 10% mediante cubetas, han surgido numerosas mejoras y discusiones sobre esta terapia denominada tratamiento ambulatorio (Haywood 1989).

Parece que la intensidad de la variación de color que se puede obtener depende de diferentes factores, como por ejemplo la concentración del agente blanqueador (Haywood 1997). Kihn en 1999 demostró que bajas concentraciones de peróxido de carbamida (5%) requieren más tiempo de tratamiento para lograr los mismos resultados que con los conseguidos con concentraciones más elevadas. Otros factores a tener en cuenta son el tiempo de aplicación del agente blanqueante y la duración del tratamiento. La mayoría de las casas comerciales recomiendan un tiempo de aplicación de 2 horas, teniendo en cuenta que los estudios de degradación del blanqueador indican que después de 2 horas de aplicado se conserva el 52% de su porcentaje en peso y el 10% al cabo de 10 horas (Wille 2003). Con respecto al tiempo de duración del tratamiento diferentes estudios indican que con dos semanas de tratamiento se puede lograr un aclaramiento perceptible del color dental (Haywood 1991, Haywood 1999, Leonard 2001).

Es probablemente el método más empleado. Los productos que son utilizados en este tipo de blanqueamiento son principalmente peróxido de hidrógeno, en concentraciones del 1,5 al 10% y peróxido de carbamida,

con una concentración variable del 10% al 16%. Hay que tener en cuenta que una solución de peróxido de hidrógeno del 10% no es equivalente a la misma concentración de una solución de peróxido de carbamida, ya que esta última se descompone en un 3% de peróxido de hidrógeno y en un 7% de urea, mientras que la concentración al 16% proporciona peróxido de hidrógeno al 4,8%.

Para poder aplicar el material, se fabrica una cubeta a medida que se realizará gracias a unas impresiones de la arcada dental. Estas impresiones se vaciarán en escayola, obteniendo unos modelos, que serán recortados adecuadamente. Sobre las superficies se aplica un material de bloqueo aproximadamente a 1,5 mm a partir de la línea gingival y sin llegar ni a los bordes ni a las caras oclusales. Esto se hace si queremos aumentar la cantidad de material en contacto con el diente, pero supondrá mayor trabajo de laboratorio y disminución de la retención de la cubeta, sin que se haya comprobado la eficacia de estos reservorios, no existiendo por tanto un motivo claro que justifique este esfuerzo. Se calienta el material de la cubeta y posteriormente será adaptada por la bomba de vacío sobre el modelo. Una vez obtenida será recortada a 0,25-0,33 mm del borde gingival.

Actualmente, el blanqueamiento ambulatorio es una técnica segura y efectiva para blanquear los dientes, siempre que se haga con el material

adecuado y correctamente controlado por el dentista, con una duración del tratamiento a corto plazo.

III.1.3. Blanqueamiento combinado

Esta opción en el tratamiento de blanqueamiento consiste en la combinación de ambas técnicas, clínica y ambulatoria. Se combina una fase inicial en clínica, seguida de una fase domiciliaria con peróxido de hidrógeno o de carbamida y complementada con el cepillado dental con pastas blanqueadoras, alargando así los efectos del blanqueamiento.

III.2.EFECTOS ADVERSOS DEL BLANQUEAMIENTO VITAL

Los productos empleados para el blanqueamiento de dientes vitales son sustancias caústicas que pueden dañar o alterar las estructuras orales.

A nivel del esmalte podemos encontrar descritas alteraciones en la rugosidad superficial (Ernst 1996), así como aumento en la porosidad superficial (Spalding 2003; Yeh 2005) y disminución en la dureza del esmalte. Estos efectos no parecen aumentar la susceptibilidad a la caries del esmalte (Al-Qunalan 2005; Pretty 2005), pero además en cualquier caso estos efectos se pueden minimizar aplicando flúor durante el tratamiento y posteriormente (Basting 2003). Es importante tener en

cuenta que el aumento en la rugosidad y porosidad del esmalte hace al diente más susceptible a las tinciones extrínsecas durante y después del blanqueamiento por lo que se debe evitar el fumar y consumir alimentos y bebidas que puedan teñir los dientes (Amengual 2002).

A nivel del tejido pulpar es frecuente la aparición de sensibilidad al frío, (Leonard 2001; Pohjola 2002) debido a la penetración del agente blanqueante en el interior de la cámara pulpar (Gokay 2005). Esta sensibilidad es transitoria, desapareciendo con la interrupción del tratamiento, modificación de dosis y pauta de aplicación (Leonard 1997), o bien el uso de agentes desensibilizantes o analgésicos (Haywood 2001).

A nivel de los tejidos blandos, puede provocar una leve irritación de los mismos de forma reversible (Leonard 1997). Además se podrían provocar quemaduras que podrían progresar a la necrosis del tejido afectado. Para evitar estos efectos, sería necesario la construcción de férulas, para la técnica ambulatoria, que cubran sólo la superficie del esmalte para evitar el contacto con los tejidos gingivales y en el caso del tratamiento en clínica es indispensable el uso de dique de goma o un método de retracción que impida el contacto del producto con la encía (Amengual 2002).

En cuanto al efecto sobre los materiales restauradores, en algunos estudios con SEM y análisis perfilométrico se demostró que el peróxido de

carbamida en concentraciones del 10-16% pueden dar lugar a un ligero aumento, pero estadísticamente significativo en la rugosidad de superficie y en la cantidad de poros en las resinas compuestas de microrrelleno e híbridos (Turker 2003). Después de la aplicación de peróxido de hidrógeno con un porcentaje al 30-35%, el análisis de reflectancia de superficie mostró cambios en las resinas compuestas de microrrelleno e híbridos (Bowles 1996). Los autores sugirieron que estos cambios en la reflectancia ponen de manifiesto los cambios más sutiles. Hafez y col. en 2010, estudiaron mediante SEM la influencia del peróxido de hidrógeno a elevadas concentraciones sobre la rugosidad de superficie de composites de microrrelleno y microhíbridos, encontrando un aumento significativo de la rugosidad, que parece ser dependiente del agente blanqueante usado y del tipo de composite.

Las alteraciones del color de los materiales restauradores han sido atribuidos a la oxidación de los pigmentos de superficie y aminas, que también han sido indicados como responsables de la inestabilidad del color de los materiales de restauración en el tiempo. Las diferencias en el cambio de color entre los diferentes materiales podrían ser el resultado de diferentes cantidades de resina y de diferentes grados de conversión de la matriz de resina a polímero. También los fenómenos superficiales como el aumento de la porosidad se cree que puedan ser debidos a los efectos oxidantes de los agentes blanqueantes en el polímero de la matriz de

resina, que incluso podrían provocar la captación de agua con desplazamiento completo o parcial de los rellenos con la consiguiente pérdida de dureza de los materiales. Pero en ningún estudio se indica si éstos cambios son relevantes clínicamente o son un fenómeno superficial susceptible de ser eliminado mediante pulido (Attin 2004). Aunque realmente este procedimiento sería aconsejable después del blanqueamiento, ya que el aumento de la rugosidad provocaría un incremento en la adhesión de microorganismos.

III.3. BLANQUEAMIENTO DE DIENTES DESVITALIZADOS

El blanqueamiento de dientes desvitalizados es una alternativa conservadora para el tratamiento estético en dientes no vitales decolorados. Es un tratamiento eficiente, relativamente simple, y preserva los tejidos duros comparado con los tratamientos protésicos.

La aplicación del agente blanqueador se realiza desde el interior de la cámara pulpar, pudiendo además combinarse desde la superficie externa del diente. Los primeros blanqueamientos internos comenzaron a mediados del siglo XIX, comenzando inicialmente con cal clorada, seguido más tarde por ácido oxálico y agentes como la clorina (Garretson 1895). Posteriormente se comenzó la aplicación de peróxido de sodio, hipoclorito de sodio o mezclas que consisten en peróxido de hidrógeno al 25% en

75% de éter. El primero en describir el uso del peróxido de hidrógeno fue Harlam en 1884. En 1918 Abbot describió el uso de Superoxol (peróxido de hidrógeno al 30%). Prinz, en 1924 recomendó emplear perborato de sodio y superoxol caliente para la limpieza de la cavidad pulpar. En 1961, Spasser indicó el uso de perborato de sodio y agua aplicado en el interior de la cámara pulpar, técnica que fue modificada por Nutting y Poe en 1967, sustituyendo el agua por peróxido de hidrógeno, debido a que consideraban que así se conseguía un efecto sinérgico y por tanto una mayor eficacia. Friedman en 1988 describió la existencia de resorción radicular presente en un 6,8% de los dientes blanqueados con esta asociación de productos. Rotsein verificó que el perborato de sodio con agua mostraba una adecuada eficacia de blanqueamiento y menor incidencia de resorción comparado con otros materiales (Valera 2009).

III.3.1. Agentes blanqueantes

Los productos blanqueadores usados más frecuentemente en el blanqueamiento de los dientes endodonciados son el peróxido de hidrógeno, peróxido de carbamida y perborato de sodio (Lim 2004; Vachon 1998; Yui 2008).

El peróxido de hidrógeno es el principio activo usado en los tratamientos de blanqueamiento, aplicado directamente o liberado como consecuencia de las reacciones químicas que sufren el peróxido de carbamida o el perborato de sodio (Plotino 2008). Hoy en día el peróxido

de carbamida y el perborato de sodio son más usados debido al menor riesgo de daño que pueden provocar en los tejidos. El perborato de sodio se descompone en peróxido de hidrógeno después del contacto con el agua, liberando oxígeno naciente (Weiger 1994).

El peróxido de hidrógeno usado en odontología tiene diferentes concentraciones de 5-35%. A una concentración elevada es caústico, provoca quemaduras en los tejidos con los que entra en contacto, y liberan radicales libres. Soluciones a elevada concentración deben ser manejadas con cuidado debido a que son termodinámicamente inestables, excepto si es guardado a baja temperatura y en un recipiente opaco. Debido a su bajo peso molecular el peróxido de hidrógeno puede penetrar en dentina y liberar oxígeno dando lugar a una reacción de oxidación que convertirá los pigmentos en dióxido de carbono y agua (Kawamoto 2004, Carrasco 2007).

Es un agente blanqueante eficaz pero elevadas concentraciones (a partir del 30%) está relacionado con el incremento en el riesgo de reabsorción radicular (Attin 2003). La eficacia del blanqueamiento depende del solvente usado pero también del tipo de perborato de sodio (Weiger 1994).

El peróxido de carbamida está formado por urea y peróxido de hidrógeno y es también usado a diferentes concentraciones. Frecuentemente los productos blanqueantes a base de peróxido de

carbamida incluyen glicerina a diferentes concentraciones, lo que hace que sea más estable químicamente que el peróxido de hidrógeno (Plotino 2008).

El perborato de sodio es un polvo blanco inodoro que presenta una variedad de formas dependiendo del contenido de agua de cristalización (Ari 2002). El perborato de sodio en forma monohidratada, trihidratada o tetrahidratada es usado desde 1907 como un agente blanqueante, especialmente en detergentes y productos de limpieza. La eficacia del perborato de sodio mezclado con agua no difiere de la eficacia del peróxido de hidrógeno (Rotstein 1993). Weiger verificó que el perborato de sodio monohidratado presenta gran cantidad de oxígeno activo (16%), pero la mezcla con agua o peróxido de hidrógeno es ineficaz después de una hora. El perborato trihidratado presenta 11.8% de oxígeno activo, pero permanece activo sólo un día. La forma tetrahidratada presenta menor cantidad de oxígeno activo (10.4%), pero es liberado durante 7 días (Weiger 1994). El estudio de Ari (2002), compara el grado de blanqueamiento obtenido con los tres tipos de perborato, e indica que a pesar de que el mayor contenido de oxígeno activo corresponde a la forma monohidratada, los resultados obtenidos son semejantes para los tres, no obteniendo diferencias significativas.

El perborato de sodio empleado para blanqueamiento de dientes desvitalizados se usa mezclado con agua, suero salino, o peróxido de hidrógeno. El perborato de sodio es estable en forma de polvo, pero en

presencia de ácido, aire húmedo o agua, se descompone en metaborato, peróxido de hidrógeno y oxígeno nascente. Mezclado con peróxido de hidrógeno, potencia su efecto y se cree que puede producir unos mejores resultados de blanqueamiento, aunque no hay evidencia (Rotstein 2001).

III.3.2.Técnica de blanqueamiento no vitales

Para el blanqueamiento de los dientes desvitalizados existen diferentes técnicas:

III.3.2.1.Técnica ambulatoria

Previo al tratamiento se debe realizar un control radiográfico para conocer la calidad del sellado radicular. Este debe impedir no sólo el paso corono-apical de microorganismos, sino también evitar la llegada a los tejidos apicales de los agentes blanqueantes, indicando por tanto, si éste relleno es inadecuado, la necesidad de reemplazarlo.

Es muy importante el empleo de dique de goma para aislar el diente a tratar, pudiendo así prevenir la reinfección del canal radicular y para prevenir los posibles daños en las estructuras adyacentes por parte del blanqueante empleado.

El sellado del canal radicular mediante una base protectora con unas características adecuadas y colocado de forma correcta en el conducto radicular es otro pilar fundamental de protección del diente que va a ser blanqueado, para evitar la difusión del blanqueante a través de los tubulos dentinarios hacia la región cervical y periapical (De Oliveira 2003). El material de base más recomendado es el ionómero de vidrio, dadas sus características y su fácil eliminación de la pared dentinaria. Existen otros materiales que han sido investigados para su uso como barrera intracoronaria, como cemento de óxido de Zinc eugenol, y composite. El problema del óxido de Zinc es que resulta incompatible con la posterior obturación con composite (Llena 2006). En aquellas zonas donde la dentina remanente es muy delgada, algunos autores recomiendan que sólo se apliquen bajas concentraciones de agentes blanqueantes, o perborato de sodio mezclado con agua destilada, para prevenir que el agente blanqueante penetre en el espacio periodontal y cause una reacción inflamatoria que podría facilitar la reabsorción radicular (Dietschi 2006).

Esta técnica consiste en la colocación en el interior del diente de materiales de blanqueamiento durante 3-7 días, siendo reemplazado regularmente hasta conseguir un aclaramiento aceptable.

Fue primariamente descrita por Spasser en 1961, y consistía en la mezcla de perborato de sodio con agua formando una pasta que era introducida en el interior de la cámara pulpar. Posteriormente se introdujo la mezcla del perborato de sodio con peróxido de hidrógeno por Nutting y Poe en 1967. En 2008, Yui empleó este tipo de tratamiento usando peróxido de carbamida con agua destilada (Zimmerli 2010).

Para la realización de esta técnica es necesario la preparación de una cavidad de acceso de forma que sea visible totalmente la cámara pulpar. Se retirará cualquier resto de material de relleno del interior de la cámara pulpar y una vez eliminados 4 mm de gutapercha subgingivalmente, el conducto será sellado con un material de base, siendo el más común el vidrio ionómero. Rotsein (1992) demostró que una capa de 2mm de vidrio ionómero es eficaz para prevenir la penetración de peróxido de hidrógeno al 30% al interior del canal.

Se ha descrito la necesidad del grabado con ácido ortofosfórico de la cavidad de acceso para remover el smear layer y abrir los túbulos dentinarios para conseguir una mayor penetración de los blanqueantes e incrementar su efectividad, pero existen estudios que demuestran que el grabado previo no aumenta la eficacia y si aumenta la difusión hacia el periodonto de los agentes blanqueantes, lo que hace de este concepto un tema controvertido (Horn 1998, Fuss 1989).

El material de blanqueamiento es introducido en el interior de la cámara pulpar y el diente será sellado con un material de relleno provisional. El sellado ideal sería la colocación de una restauración adhesiva debido a que mejoraría el sellado y por tanto evitaría la penetración bacteriana.

III.3.2.2. Técnica externa/interna

Esta técnica fue descrita por Settembrini en 1997, y como su nombre indica consiste en la aplicación del agente blanqueante sobre la superficie interna y externa del diente al mismo tiempo, mediante una cubeta construída especialmente. La cavidad de acceso permanece abierta durante todo el tiempo de duración del tratamiento de blanqueamiento.

La ventaja de esta técnica es que se emplea tanto un enfoque externo como interno para el blanqueamiento, lo que permitiría el empleo de bajas concentraciones del producto. Se cree que el empleo del agente blanqueante, generalmente peróxido de carbamida al 10%, reduce el riesgo de reabsorción externa, pero no lo elimina.

El problema fundamental de este tipo de blanqueamiento es que el diente permanecerá abierto durante todo el tratamiento, lo que dificulta el control de la infección bacteriana, pudiendo producirse la colonización bacteriana de los túbulos dentinarios, y por tanto no sólo afectar al resultado del blanqueamiento si no que también puede verse

comprometido el resultado de la endodoncia (Zimmerli 2010). También suponen desventajas la necesidad de cumplimiento por parte del paciente y un cierto grado de destreza para la colocación del agente blanqueante en el interior de la cámara pulpar.

III.3.2.3. Blanqueamiento clínico

Se realiza mediante la aplicación clínica de peróxido de hidrógeno al 30% en el interior del diente durante 15-20 minutos, y una vez lavado, el procedimiento será repetido si es necesario. El efecto blanqueante conseguido frecuentemente es efímero, ya que el color más claro del diente es debido fundamentalmente a la deshidratación debido al aislamiento con dique de goma.

III.3.2.4. Técnica Termocatalítica

Consiste en la aplicación de gel de peróxido de hidrógeno a elevada concentración (30-35%) aplicado dentro de la cámara pulpar y activado con luz o con calor. La temperatura es mantenida entre 50 y 60° durante 5-10 minutos, se deja un tiempo para que se enfríe, el gel es lavado con

agua durante unos pocos minutos, secado y colocado una nueva mezcla, repitiendo el proceso 3 ó 4 veces por cita.

Esta técnica al igual que el Blanqueamiento Clínico puede combinarse con la técnica ambulatoria, de forma que una vez terminado el procedimiento clínico se coloca producto blanqueante en el interior de la cámara pulpar, dejándolo así hasta que el diente es revisado 2 semanas más tarde para valorar si son necesarios más tratamientos (Rotstein 2002).

Una variación de esta técnica, emplea gel de peróxido de hidrógeno al 35%, aplicándolo internamente en la cámara pulpar y externamente en la cara vestibular del diente. La activación con luz interna y externamente se puede hacer con una lámpara de luz halógena, plasma o con láser de diodo.

IV. COMPLICACIONES Y RIESGOS DEL BLANQUEAMIENTO INTERNO

El blanqueamiento puede tener efectos adversos, siendo los más probables efectos sobre los tejidos duros y la mucosa, sensibilidad cuando el material de blanqueamiento entra en contacto con un diente vital adyacente, resorción cervical externa, alteración de las restauraciones de composite, y solubilidad del material dental.

Otro suceso que puede afectar a los dientes tratados con blanqueamiento interno es la fractura coronaria, provocada probablemente por la extensa remoción de la dentina intracoronaria (Dalh 2003), a lo que se añaden estudios que demuestran que el blanqueamiento realizado con peróxido de hidrógeno al 30% disminuye la microdureza del esmalte y la dentina y altera sus propiedades mecánicas (Chung et al 2002).

IV.1. EFECTOS SOBRE LOS TEJIDOS DUROS

Uno de los efectos secundarios más importantes son los cambios en el esmalte y la dentina, en particular la reducción de la microdureza del esmalte (Attin 1997). Existen estudios como el de Haywood, que no muestra alteraciones en el esmalte tratado con peróxido de carbamida, mientras que otros trabajos muestran erosiones superficiales (Haywood 1991) o bien cambios más importantes en la estructura del esmalte (Lewinstein 1994). La dureza superficial del esmalte y la resistencia al desgaste también se investigaron, mostrando un total desacuerdo entre los resultados (Suleiman 2008). Una posible causa de la alteración de los tejidos duros podría ser el pH del producto blanqueante empleado, con un rango que va desde muy ácido (pH= 3,67) a muy básico (pH 11,13) (Price 2000).

El peróxido de hidrógeno (30%) puede tener un efecto negativo en la microdureza del esmalte y la dentina, ya que pueden alterar la composición química de los tejidos dentales duros, cambiando la proporción entre los componentes orgánicos e inorgánicos (Haywood 1992; Heling 1995; Lewinstein 1994; Powell 1991; Tong 1993). Lewinstein (1994) determinó una reducción significativa de la dureza después de sólo una aplicación de 5 minutos del agente blanqueante, concretamente de peróxido de hidrógeno. Este producto es un agente fuertemente oxidante que puede actuar sobre la dentina modificando sus propiedades mecánicas y químicas. Este agente es capaz de generar radicales hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) en presencia de sales ferrosas, que han sido descritos como los responsables del blanqueamiento dental. Debido a su elevado potencial de oxidación, estos radicales actúan en la dentina inter y peritubular rompiendo las cadenas de polipéptidos y degradando los componentes del tejido conectivo, en especial colágeno y ácido hialurónico, atacando los componentes orgánicos de la dentina, y estas alteraciones ultraestructurales aumentan su permeabilidad y reducen la dureza y elasticidad (Carrasco 2007, 2009). Las propiedades mecánicas de la dentina varían con la distancia a la pulpa, encontrando una relación inversamente proporcional entre la microdureza de la dentina y la densidad tubular, debido a la disminución de la dentina intertubular y a un aumento en el diámetro de los túbulos. El estudio de Chng (2002) muestra que el efecto del peróxido de hidrógeno sobre la microdureza era

más pronunciado en la dentina profunda. En contraste, el uso del perborato de sodio combinado con peróxido de hidrógeno no altera la dureza. Se encontró que el gel de peróxido de hidrógeno al 35%, solución de peróxido de hidrógeno al 30% y también el gel de peróxido de carbamida al 35% disminuye la microdureza de la dentina. La aplicación de perborato de sodio (mezclado con agua o con peróxido de hidrógeno al 30%) en la cavidad pulpar no tiene influencia en la microdureza de la dentina (Chng 2002).

El mecanismo exacto por el que se altera la microdureza de la dentina por la acción de los agentes blanqueantes no está totalmente claro. El peróxido de hidrógeno causa disolución del material inorgánico, reducción en el porcentaje calcio-fósforo, y una reducción en los componentes orgánicos debido a la oxidación de las proteínas. La variación del efecto de los agentes blanqueantes en relación a la localización de la dentina parece estar relacionada con varios factores, como el pH de los productos empleados, la capacidad tampón de la dentina, el diámetro y densidad de los túbulos, o cambios en la presión dentro de la cámara pulpar. El oxígeno es liberado durante la descomposición de los agentes blanqueantes, lo que podría aumentar la presión dentro de la cámara pulpar forzando la penetración a través de los túbulos dentinarios, lo que hace que el efecto sea más pronunciado en la dentina interna.

IV.2. RESORCIÓN CERVICAL EXTERNA

Una de las principales secuelas de este tipo de tratamiento es la reabsorción radicular externa. Diferentes trabajos han demostrado la capacidad de los agentes blanqueantes de difundir hacia la región cervical del diente cuando son colocados dentro de la cámara pulpar, encontrándose una mayor concentración cuando se utiliza peróxido de hidrógeno o una combinación de peróxido de hidrógeno y perborato de sodio (Amengual 2009). La etiología se desconoce, pero se cree que puede estar influenciada por diferentes factores:

1. Una unión defectuosa entre el cemento y el esmalte con la probable aparición de dentina expuesta en esta zona puede establecer las condiciones ideales para la reabsorción debido a la presencia de factores que influyen en los procesos inflamatorios, como las citoquinas, presencia de bacterias, y la exposición de proteínas específicas de la dentina e interacción celular. Estas proteínas estructurales durante el desarrollo de la tolerancia inmune permanecen aisladas de las células responsables del reconocimiento, así cuando están expuestas, no son reconocidas y por tanto generan una reacción inmunitaria. Normalmente las áreas de dentina expuesta al ligamento periodontal son cubiertas por matriz extracelular lo que mantiene a las proteínas específicas de la dentina aisladas, evitando así el reconocimiento por las células inmunes (Neuvald

2000). Pero, es necesario algo más que las proteínas expuestas, ya que ésto sólo llevaría a una resorción local transitoria, así la presencia asociada de bacterias si representa una asociación ideal para que el proceso ocurra.

2. El peróxido de hidrógeno, que puede difundir a través de las estructuras dentarias, da lugar a radicales hidroxilo, oxígeno y otros radicales libres, los cuales tienen capacidad de degradar colágeno y ácido hialurónico del tejido conectivo (Kinomoto 2001; Li 1998; Tipton 1995; Dahlstrom 1997) y éste proceso puede dar lugar a una respuesta inflamatoria capaz de iniciar la resorción radicular externa.

3. El tejido periodontal inflamado contiene una variedad de células inmunocompetentes , predominantemente macrófagos. La adhesión es el primer paso en la función fagocítica de los macrófagos y en la presentación antigénica, teniendo un efecto inhibitorio el perborato de sodio sobre la adhesión, por tanto inhibirá el proceso y reduce las reacciones inflamatorias en los tejidos periodontales, lo que explicaría, al menos en parte, los casos de reabsorción cervical que ocurren cuando el blanqueamiento se realiza exclusivamente con perborato de sodio (Jiménez-Rubio 1998).

4. El espesor de la dentina cervical remanente, diámetro de los túbulos, presencia o ausencia de barrillo dentinario, ya que el área cervical es permeable, debido a la proximidad del canal a la superficie radicular externa como resultado de los procedimientos endodónticos y por la propia estructura de los túbulos dentinarios a ese nivel.

5. Temperatura de los agentes blanqueantes (Rotstein 1991). La recomendación actual es no aplicar calor a los agentes blanqueantes en el interior de la cavidad de acceso, debido a que puede causar daño en los tejidos periodontales y provocar un aumento del porcentaje de resorción radicular (Zimmerli 2010).

6. Reducción del pH en el ligamento periodontal provocado por la difusión de peróxido de hidrógeno a través de los túbulos dentinarios. No está claro que el descenso del pH de corta duración provocado por el peróxido contribuye por sí sólo a la resorción radicular o bien porque pueda provocar un grabado ácido de la dentina, permitiendo el paso del peróxido de hidrógeno a través de los túbulos dentinarios, y los radicales libres originados influirán en la resorción radicular (Lee 2004, Rotstein 1991, Amengual 2009).

7. Edad del paciente, ya que por debajo de los 20 años la permeabilidad de los túbulos dentinarios es mayor (Camps 2007).

8. Grabado ácido de esmalte y/o dentina previo al tratamiento de blanqueamiento (Powel 1991).

9. Antecedentes previos de traumatismo dental (McIsaac 1994).

10. Contaminación bacteriana de los túbulos dentinarios

11. La acción citotóxica de los peróxidos, especialmente el peróxido de hidrógeno combinado con perborato de sodio (Kinomoto 2001).

IV.3. EFECTO SOBRE LAS FUERZAS DE ADHESIÓN

El éxito de las restauraciones de composite dependen de la unión a los tejidos duros dentales que retendrán la restauración en la cavidad y previenen la microfiltración.

La unión a esmalte y dentina puede verse alterada después de un blanqueamiento debido a la presencia de activos químicos después del tratamiento, principalmente oxígeno en el esmalte o en la dentina (Perdigao 1998; Lai 2001; Torneck 1991), que inhibe la polimerización de las resinas y reduce la fuerza de adhesión de las mismas al diente, y ésto es independiente de la concentración del peróxido (Kum 2004).

Una vez realizado el tratamiento de blanqueamiento, la cavidad de acceso debe ser sellada lo antes posible para minimizar la filtración marginal y la penetración de bacterias y agentes decolorantes a través de los márgenes de la cavidad. Cualquier cambio provocado por los productos blanqueantes en la dentina y esmalte tendrá influencia en la eficacia de la adhesión. Torneck afirma que el blanqueamiento puede comprometer la fuerza adhesiva de la resina, y puede aumentar el fallo de las restauraciones en las cavidades complejas.

Debido a las características específicas de la dentina, la mayoría de los sistemas adhesivos adhieren más fuertemente a la dentina superficial disminuyendo la fuerza de unión progresivamente con la profundidad de la dentina (Pashley 1993). Las paredes de dentina que conforman la cavidad pulpar es por consiguiente la dentina más profunda, con un gran diámetro de túbulos y una elevada densidad de los mismos, siendo por tanto un sustrato muy complicado, con unas características muy diferentes que la dentina que constituye las paredes de las cavidades que se realizan normalmente en operatoria (Belli 2001) .

Cuando el material adhesivo se usa adecuadamente no se forma ningún gap entre éste y la estructura dental, lo que implica una reducida microfiltración, y éstos adhesivos aplicados a la dentina grabada crean una capa de resina infiltrada en el entramado de colágeno, capa híbrida,

que no sólo retiene el composite a la dentina si no que también sella la dentina previniendo la penetración de flúidos orales (Timpawat 2005).

Existen varios aspectos que son responsables de la disminución en la fuerza de unión del composite al esmalte y a la dentina blanqueada. El blanqueamiento con peróxido de hidrógeno o con blanqueantes liberadores de peróxido de hidrógeno puede disminuir el contenido en calcio y fosfato del esmalte y dar lugar a alteraciones en los microcristales más superficiales del esmalte (Perdigao 1998; Ruse 1990).

Por otra parte el oxígeno residual puede ser responsable de la inhibición de la polimerización de la resina o interferir en la infiltración de resina dentro del esmalte y dentina y da lugar a un aumento en la aparición de poros en la resina (Titley 1998). Los tags de resina en el esmalte blanqueado son menos numerosos, más fragmentados, peor definidos y más cortos que en el diente no blanqueado (Nathoo 1994). La unión con dentina se ve afectada y el smear layer puede ser removido parcialmente (Hunsaker 1990).

El peróxido residual o sustancias derivadas de este que permanecen en el esmalte interprismático, inhiben con el oxígeno la polimerización y aumenta la porosidad de la resina (Titley 1988). Los cambios en los tejidos dentales después del tratamiento dependen del tiempo

transcurrido, para intentar evitar esto se recomienda esperar unas semanas después del blanqueamiento antes de realizar algún tratamiento restaurador (Demarco 2001; Torneck 1991; Cavalli 2001; Shinohara 2004).

Si la acción oxidante del peróxido de hidrógeno es responsable de la disminución de la fuerza de unión de la resina a la dentina blanqueada, la aplicación de un antioxidante biocompatible y neutro como el ascorbato sódico puede revertir el efecto del oxígeno (Feiz 2011).

La aplicación de hidróxido de calcio durante 7 días después de la terminación del blanqueamiento podría revertir la influencia negativa del peróxido de hidrógeno sobre la microfiltración en la cavidad de acceso (Attin 2004).

IV.4. TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS BLANQUEANTES

El peróxido de hidrógeno está presente de forma natural en muchos vegetales y es producido en los humanos durante el metabolismo normal de las células aeróbicas. En el cuerpo humano existen fuentes intrínsecas de peróxido de hidrógeno que son organelas, especialmente mitocondrias, las células de la saliva, los microorganismos. Además, los neutrófilos y macrófagos proporcionan una importante fuente de peróxido de hidrógeno

endógeno que juega un papel importante en la defensa contra varios microorganismos (Victorin K 1992).

De todas formas las reacciones oxidativas de los radicales libres con proteínas, lípidos y ácido nucleico tienen potencial para provocar consecuencias patológicas, pero para prevenir estos daños potenciales el cuerpo tiene mecanismos de defensa a nivel celular y tisular para reparar los daños sufridos, enzimas para metabolizar el peróxido de hidrógeno. Las concentraciones de peróxido de hidrógeno se reducen a un nivel mínimo estable gracias a enzimas como catalasa, que catalizan la descomposición en agua y oxígeno. Enzimas de degradación en la saliva son los medios primarios y enzimas degradativas intracelulares son los medios secundarios que el cuerpo emplea para regular los niveles de peróxido de hidrógeno. Las peroxidasas salivares son la más efectiva línea de defensa contra los potenciales efectos secundarios (Carlsson 1987).

Así la cavidad oral es capaz de descomponer más de 29 mg de peróxido de hidrógeno por minuto y la dosis empleada para el tratamiento de ambas arcadas con peróxido de carbamida al 10% son aproximadamente 3,5 mg (Suleiman 2006).

La toxicidad dermatológica del peróxido de hidrógeno a concentraciones de 35% es escasa, pero si es importante en aquellas situadas por encima del 50%.

El potencial carcinogénico de los agentes de blanqueamiento es un tema controvertido. Los radicales reactivos generados son fuente potencial de daño celular. Perdigao, en 2004, indica que el estrés oxidativo puede inducir daños en las células epiteliales orales, pudiendo dar lugar a cambios premalignos. Por otro lado, existen estudios que indican que el peróxido de hidrógeno no es carcinogénico, mutagénico, ni teratogénico y en cuanto a la toxicidad o serios daños a los tejidos blandos no está demostrado (Woolverton 1991). Inicialmente se encontró capacidad mutagénica basadas en estudios in vitro que no han podido ser reproducibles in vivo. Los radicales de oxígeno reactivo son una fuente potencial de daño celular que causan roturas en la cadena de ADN, genotoxicidad y citotoxicidad. Sin embargo estos radicales no tienden a atravesar las membranas biológicas, ni recorrer grandes distancias en el interior celular. Cuando los niveles de peróxido de hidrógeno exógeno sobrepasan los mecanismos de protección, el peróxido de hidrógeno pueden presentar un problema de salud. Así personas que sufren falta de actividad de la catalasa dan lugar a altos niveles endógenos de peróxido de hidrógeno y presentan efectos adversos derivados de este proceso. El

peróxido de hidrógeno se acumula en los tejidos periodontales privándolos de oxígeno y dando lugar a ulceración y necrosis de los tejidos blandos.

Después de la aplicación de peróxido de carbamida al 10% durante 20 minutos sobre el dorso de la lengua de ratas aumentaba en la capa basal la expresión del antígeno nuclear de proliferación celular, de todas formas la examinación del epitelio reveló que este aumento era transitorio porque sólo era evidente el día después de la aplicación y no posteriormente (Naik 2006). Weitzman en 1986, usó peróxido de hidrógeno al 30% en el epitelio bucal de un pequeño número de hamsters durante 22 semanas, junto al carcinogénico del tabaco 9, 10-dimetil-1,2-benzantraceno (DMBA) y observó una ligera displasia en el 50% de los animales. Estos resultados han sido cuestionados por el pequeño número de animales estudiados. Hoy en día no se conoce la biocompatibilidad tisular a largo plazo (Fasanaro 1992).

Hay que tener en cuenta el potencial mutagénico de los radicales libres y su efecto potenciador sobre los carcinógenos como el tabaco o el alcohol, debiendo por tanto evitar su uso conjunto.



Hipótesis de Trabajo

Uno de los problemas habituales del blanqueamiento interno realizado con peróxido de hidrógeno son los efectos secundarios asociados a la utilización de este producto, por lo que se considera el empleo de perborato de sodio como material de elección para este tipo de tratamientos. Considerando los antecedentes bibliográficos planeamos los siguientes objetivos:

- Medición instrumental del color de los dientes humanos antes y después de la aplicación de un protocolo de blanqueamiento con perborato de sodio, para valorar el cambio cromático observado dentro del espacio CIELab.
- Estudio mediante SEM de los cambios experimentados en los tejidos dentales posteriores al blanqueamiento con perborato de sodio.
- Comparación del cambio cromático de 2 métodos de blanqueamiento, uno basado en la aplicación de perborato de sodio en el interior de la cámara pulpar con otro en el que se combina con la aplicación externa de peróxido de hidrógeno, con el objetivo de valorar si la aplicación externa da lugar a un aumento en la eficacia del tratamiento.

- Estudio mediante SEM de dientes sometidos a los 2 tipos de tratamiento, interno y combinado para conocer si existen alteraciones en los tejidos dentales.
- Valorar la alteración cromática conseguida con diferentes triturados de perborato de sodio, suponiendo que un menor tamaño de partícula proporcionaría una mayor superficie de contacto y por tanto podrían influir en el resultado conseguido.



Material y Métodos

I. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO Y MICROSCÓPICO DE DIENTES SOMETIDOS A BLANQUEAMIENTO INTERNO

I.1. MATERIAL Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Realizamos este trabajo para valorar la eficacia del perborato de sodio químicamente puro como agente para blanqueamiento interno y los efectos secundarios que provoca sobre los tejidos dentarios. Para ello empleamos 9 molares inferiores extraídos por motivos periodontales con raíces no fusionadas conservados en suero fisiológico a 4°C en tubos individuales, con una renovación diaria del suero para poder mantener los dientes con un alto grado de hidratación (Kugel 2007).

Los dientes fueron preparados eliminando previamente todos los restos orgánicos e inorgánicos de la superficie dentaria coronaria y radicular, empleando una punta ultrasónica ProUltra™ (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI). Se comienza la preparación realizando la apertura de la cámara en cada molar con fresa de diamante FG G4 113 N (Intensiv, Grancia, SUI), de forma estandarizada para poder conseguir la misma cantidad de tejido remanente en cada uno de los fragmentos. Una vez localizados y permeabilizados los conductos, se procede al preflaring manual con limas K-file del 10, 15 y 20 (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI), seguido por instrumentación con limas rotatorias Protaper®

(Dentsplay-Maillefer, Ballaigues, SUI) hasta F2 ó F3, en función de la anatomía radicular. La irrigación pre obturación se realizó con hipoclorito sódico al 5.25% (Dentaflux Lab, Madrid, ESP). Los conductos radiculares fueron secados con puntas de papel (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI). Para el sellado se realizó la técnica de obturación de cono único con obturadores de la misma conicidad que Protaper[®], empleando como cemento sellador Pulp Canal Sealer[™] EWT (SybronEndo, Orange, CA). Terminada la endodoncia, retiramos los remanentes del material de obturación de la cámara pulpar.

Una vez preparados los dientes fueron seccionados usando un disco de corte diamantado (Edenta AG, SUI) montado en pieza de mano, de forma que obtenemos dos fragmentos test de un mismo diente (Fig. 9). Los molares son seccionados en la línea mesio-distal cortándolos en sentido vestibulo-lingual, para obtener dos mitades, mesial y distal, de forma que cada una de ellas pasará a formar parte de un grupo, test y control. En el grupo test las muestras eran tratadas con perborato de sodio.



Fig. 9. Molar dividido en 2 fragmentos

Para prevenir la filtración apical y cervical del agente blanqueante es necesario la colocación de una capa de 2 mm de vidrio ionómero (Vitrebond™, 3M ESPE, St Paul, USA) para sellado del conducto radicular (Costas 1991, Rotsein 1992, Warren 1990) y para que el blanqueamiento sea efectivo en toda la longitud de la corona es importante decidir la cantidad de gutapercha radicular que se va a retirar, que son 4 mm de gutapercha por debajo de la línea amelo-cementaria. Para determinarla se emplea una sonda periodontal que va a medir la longitud de la corona e introduciéndola en el interior de la cámara nos permite conocer la cantidad de gutapercha que se va eliminando (Fig.10, 11). Para ello se usó la fresa Post Space Bur (Dentsplay-Maillefer, Ballaigues, SUI) (Fig.12).

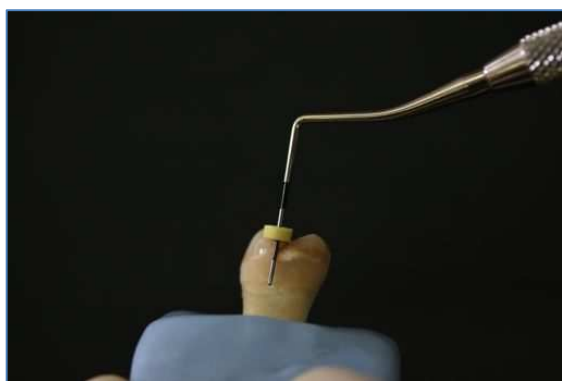


Fig.10. Determinación LAC



Fig.11. Medición



Fig.12. Fresa Post Space

Una vez limpia toda la cámara y retirada la cantidad adecuada de gutapercha se debe sellar el acceso al conducto. Se coloca una base de ionómero de vidrio (Vitrebond™, 3M ESPE, USA) de 2mm de espesor siguiendo el contorno anatómico de la línea amelocementaria (Fig.13), para evitar posibles filtraciones del agente blanqueante.



Fig.13. Colocación del vidrio ionómero

Para facilitar la aplicación del agente blanqueante, se colocaba una automatrix alrededor de los fragmentos dentales para simular la corona de los dientes (Fig.14).



Fig. 14. Automatrix

Los cristales de perborato de sodio fueron mezclados con suero fisiológico hasta conseguir una consistencia húmeda y de esta forma fueron colocados en la cámara pulpar. Se deja actuar el agente blanqueante durante 20 minutos y transcurrido este tiempo, lavamos con agua, secamos y volvemos a repetir el procedimiento pero se deja actuando durante 1 semana. El acceso endodóncico fue sellado con IRM (Dentsplay Caulk, Milford, DE). El tratamiento era repetido cada 7 días durante 1 mes.

En el grupo control, la cámara pulpar obtenida fue rellena con un pellet de algodón y sellada con IRM.

Durante el experimento las muestras eran guardadas en recipientes individuales rellenos con suero fisiológico a temperatura ambiente.

I.2. ESTUDIO COLORIMÉTRICO

Los fragmentos son montados en una base de silicona (Aquasil Ultra[®], Dentsply Caulk, Milford, DE) y posicionados simulando una arcada dental. Para poder realizar la medición correctamente y de forma fácilmente repetible, elaboramos unos posicionadores de acetato. Para ello se utilizó una máquina moldeadora de planchas termoplásticas al vacío Proform[®] (fig. 15) empleando planchas de acetato Sof-Tray[®] de 0,9 mm grosor (Ultradent, USA) (fig. 16). Una vez realizados, se estandariza la posición del puntero del colorímetro sobre las superficies de las muestras mediante una perforación central de 3 mm de diámetro equidistante mesiodistalmente en la superficie vestibular del acetato (Fig. 9, 10) de manera que las mediciones se hiciesen siempre sobre el mismo punto (Douglas 1997, Shimada 2004). Con una fresa de diamante se perforó cada circunferencia y luego se pulieron las mismas con un disco de fieltro, ya que en esta zona central es donde el diente muestra una superficie más plana y, por tanto, un mejor ángulo de reflexión de la luz (Amengual y cols. 2005).

Las mediciones se realizaron 3 veces seguidas, o el número de veces necesarias hasta que se obtenga el mismo valor en dos mediciones sucesivas en cada fragmento para comprobar la repetibilidad de los datos y evitar posibles errores (Amengual 2005, Douglas 1997).



Fig. 15. Máquina moldeadora de planchas Fig. 16. Planchas de acetato



Fig.17. Posicionador acetato



Fig.18. Ajuste posicionador

El análisis cromático se realizó mediante colorimetría ya que ésta nos permite cuantificar los valores mediante números y poder realizar una

comparación matemática objetiva una vez finalizado el blanqueamiento (Rusell 2000, Horn 1998). Utilizamos el espectrofotómetro Vita 3D Easyshade[®] (Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany) (Fig.19) con iluminación D65 para la determinación del color. Dentro de los iluminantes estándares propuestos por la CIE dentro de la serie D (aquellos que describen situaciones de iluminación al mediodía en diferentes latitudes del mundo), el D65 describe las condiciones de iluminación en Europa Occidental.

Este espectrofotómetro cubre todo el espectro de la luz visible en la gama desde 400nm hasta 700 nm. A partir de este espectro, y utilizando las funciones de ajuste cromático del observador estándar y el espectro del iluminante, se calculan las funciones cromáticas XYZ, y a continuación los valores $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$.

La luz direccional es reflejada por la superficie de un objeto y no contiene a excepción de los metales, ninguna información cromática sobre el objeto. Por este motivo los sistemas de medición del color deben especificar si una medición concreta se ha efectuado con o sin luz direccional. Cuando una persona observa un diente, a menudo percibe componentes de luz direccional, a fin de adaptar el color con mayor precisión, el observador modifica la línea visual para excluir estos componentes del análisis. Estos componentes se encuentran también en los sistemas de adaptación cromática asistidos por cámara y, si no es

posible eliminarlos matemáticamente durante el cálculo para la adaptación cromática, pueden perjudicar la exactitud de la medición del color. El Easyshade® (Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany) utiliza un diseño de sonda patentado que permite la medición excluyendo la luz direccional, garantizando así que esta luz procedente de la superficie del diente no influya negativamente en la precisión de la medición.



Fig. 19. Colorímetro Vita 3D Easyshade®

Este espectrofotómetro digital de la casa Vita está integrado por la pieza de mano Easyshade Compact con pantalla integrada en su base y la unidad de carga con el soporte para el bloque de calibración.

El Easyshade® (Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany) está precalibrado para el bloque de calibración suministrado. Una vez puesto en funcionamiento se toma la pieza de

mano y se inserta la punta de la sonda en la conexión de calibración de forma que quede en contacto perpendicular con el bloque y así poder calibrar la sonda. En el centro de la unidad de carga se ilumina con una luz verde, y poco después la punta de medición de la pieza de mano ilumina el bloque. El final de la calibración se indica con 3 breves señales acústicas. Puede usarse para medir zonas individuales del diente para poder conocer el color básico del diente o bien las áreas cervical, central e incisal. Para poder obtener una medición correcta es imprescindible la colocación adecuada de la sonda, de forma perpendicular a la superficie del diente.

El Easyshade registra valores en la guía Vita clásica, en la Vitapan 3D Master y los valores del Cie Lab. Una vez realizada la medición, en la pantalla se observará el color Classical y el color 3D-Master, y la selección de la medición en la pantalla conduce a la información de la medición en el espacio cromático.

En este trabajo tomamos como referencia para realizar los análisis los valores del espacio de color CieLab, centrándonos en los parámetros L^* , a^* y b^* . El color está definido por las coordenadas L^* , que representa la claridad que va desde 0 (negro) a 100 (blanco); a^* representa la cualidad de rojo ($a > 0$) o verde ($a < 0$); y b^* , que describe los valores amarillo ($b > 0$) o de azul ($b < 0$).

El cambio de color se expresa mediante ΔE^* (King 2007). El término

E^* deriva de la palabra alemana *Empfindung*, que significa sensación. Así ΔE^* indica la diferencia en la sensación de alteración de color y es una distancia euclídea entre dos puntos en el espacio tridimensional de color. Una ecuación es la usada para determinar E^* de una muestra:

$$E^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2 + (L^*)^2}$$

La diferencia de color en una muestra desde el principio al final es calculado con la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2 + (L_2^* - L_1^*)^2}$$

I.3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Una vez blanqueadas las muestras, éstas se sometieron a un análisis microscópico con el objetivo de analizar las posibles alteraciones estructurales producidas en la dentina blanqueada y poder compararlas con la estructura dentinaria de los fragmentos no blanqueados.

La microscopía electrónica de barrido (MEB) se utiliza para caracterizar las superficies dentales a altas magnificaciones. Emplea un haz de electrones acelerados por un cañón electrónico en lugar de fotones o luz visible para formar imágenes. Los electrones se desplazan en un medio de alto vacío e interaccionan con la muestra. El microscopio de barrido hace impactar el haz de electrones sobre la superficie de la muestra

produciendo un haz de electrones reflejados procedente de elementos presentes en la superficie del material, lo que determina la formación de una imagen de la superficie. Tiene una gran profundidad de campo que permite enfocar una gran parte de la muestra. El sistema de compensación de carga del que están dotados permite la adquisición de la imagen de alta resolución de muestras no conductoras. Los electrones que se acumulan en la superficie de la muestra son arrastrados por un débil flujo de nitrógeno que evita la carga de la superficie de la muestra y, por tanto obtener imágenes con poca resolución. Los microscopios electrónicos de barrido pueden ampliar los objetos 200.000 veces o más (Ortiz 2012).

Los dientes fueron seccionados perpendicularmente al eje axial longitudinal con una sierra diamantada a baja velocidad (Isomet 1000, Buehler Ltd.) bajo refrigeración con agua destilada, para obtener las coronas dentales sin sus raíces. Los especímenes fueron inmediatamente introducidos en glutaraldehído al 2.5% / paraformaldehído 2% en 0.1 M de cacodilato de sodio con pH 7.4 durante 12 horas a 4 °C. Después de la fijación, los especímenes fueron enjuagados con 20 mL de 0.1 M de cacodilato de sodio con pH de 7.4 durante 1 hora con tres cambios, seguido de agua destilada durante 1 minuto. Posteriormente fueron deshidratados en grado ascendente de etanol (25 % durante 20 minutos, 50 % durante 20 minutos, 75 % durante 20 minutos, 95 % durante 30

minutos y 100% durante 60 minutos). Después del final de la etapa de etanol, los especímenes fueron secados mediante inmersión en hexametildisilazano (HMDS, Ted Pella Inc.) durante 10 min, situados dentro de un filtro de papel en viales de vidrio, y secados con aire a temperatura ambiente (Perdigão et al., 1995). Los especímenes fueron montados en matrices A1 con discos adhesivos de carbón (Ted Pella Inc.) y un secado coloidal rápido de la pintura de plata (Ted Pella Inc.). El recubrimiento metalizado se hizo con oro pálido mediante revestidor por bombardeo iónico E-5100 (Polaron Ltd.) a 20 mA durante 90 segundos. Las coronas dentales fueron observadas bajo FESEM (JEOL JSM-7001F) con un voltaje de aceleración de 15.0 Kv.

I.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los valores de las variables se expresaron en función de la media \pm desviación típica. En los contrastes de medias se empleó el estadístico t de Student, y en ausencia de normalidad, el test de Mann - Whitney. Todos los intervalos de confianza se situaron al 95%. Se aceptaron niveles de significación estadística en un p-valor < 0.05 . Todos los análisis fueron realizados empleando el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSSR, ver.14.0 ; SPSS Inc. Chicago, IL, USA).

II. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO Y MICROSCÓPICO DE DIENTES SOMETIDOS A BLANQUEAMIENTO INTERNO Y EXTERNO CONJUNTAMENTE VERSUS BLANQUEAMIENTO INTERNO

II.1. MATERIAL Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Este estudio se realiza con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con un protocolo de blanqueamiento que combina blanqueamiento interno y externo con los conseguidos si sólo se realiza blanqueamiento interno. Todas las muestras son examinadas por MEB después del tratamiento para identificar posibles alteraciones en los tejidos dentales

Se emplearon 20 molares inferiores íntegros, con raíces no fusionadas, extraídos por motivos periodontales, conservados en suero fisiológico a 4°C en tubos individuales, renovado diariamente para mantener los dientes con un alto grado de hidratación (Kugel 2007).

Los dientes fueron preparados eliminando previamente todos los restos orgánicos e inorgánicos de la superficie dentaria coronaria y radicular, empleando una punta ultrasónica ProUltra™ (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI). Se realiza la apertura cameral con fresa de diamante FG G4 113 N (Intensiv, Grancia, SUI), de forma estandarizada para poder conseguir la misma cantidad de tejido remanente en cada uno de los fragmentos. Posteriormente se realiza el preflaring manual con limas K-

file del 10, 15 y 20 (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI), seguido por instrumentación con limas rotatorias Protaper[®] (Dentsplay-Maillefer, Ballaigues, SUI) hasta F2 ó F3, con irrigación empleando hipoclorito sódico al 5.25% (Dentaflux Lab, Madrid, ESP). Los conductos radiculares fueron secados con puntas de papel (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, SUI). El sellado se realizó con técnica de obturación de cono único con obturadores de la misma conicidad que Protaper[®], usando el cemento Pulp Canal Sealer[™] EWT (SybronEndo, Orange, CA).

Para prevenir la filtración apical y cervical del agente blanqueante es necesario la colocación de una capa de 2mm de vidrio ionómero para sellado del conducto retirando previamente 4 mm de gutapercha por debajo de la línea amelo-cementaria usando la fresa Post Space Bur (Dentsplay-Maillefer, Ballaigues, SUI) (Fig.12).

Los molares son seccionados usando un disco de diamante (Edenta AG, SUI) en la línea mesio-distal, cortándolos en sentido vestibulo-lingual, para obtener dos mitades, mesial y distal, de forma que cada una de ellas pasará a formar parte de un grupo:

Grupo 1. Dientes tratados únicamente con blanqueamiento interno

Grupo 2. Dientes tratados con blanqueamiento externo e interno

II.2. ESTUDIO COLORIMÉTRICO

Antes de comenzar el blanqueamiento se realiza una toma del color de los fragmentos. Los fragmentos son montados en una base de silicona dispuestos de forma que imiten una arcada dental. Para poder realizar la medición, que se realiza 3 veces seguidas o el número de veces que sea necesario hasta conseguir 2 veces consecutivas el mismo valor, elaboramos unos posicionadores de acetato con láminas Sof-Tray® de 0,9mm de grosor (Ultradent, USA) (fig. 8), que se perforarán con una fresa de diamante en la zona central del diente con un orificio de 3mm de diámetro (Fig. 9, 10) para colocar en ese lugar la sonda del espectofotómetro Vita 3D Easyshade, perpendicularmente al eje del diente.

En este trabajo tomamos como referencia para realizar los análisis los valores del espacio de color Cie Lab, centrándonos en los parámetros L*, a* y b* y el cambio de color expresado por ΔE^*

II.2.1. Dientes tratados con blanqueamiento interno

Una vez recogidos los valores iniciales se procede a realizar el blanqueamiento interno, utilizando en este caso perborato de sodio de alta pureza (>98%) que se presenta como un polvo fino blanco, conservado en un recipiente hermético para evitar contacto con la humedad. Para facilitar este paso colocamos una matriz automatrix sellada con dique

líquido (SDI, Victoria, AUS) en cada fragmento simulando la corona del diente para facilitar posibles pasos en el tratamiento blanqueante.

Trituramos los cristales de perborato, los mezclamos con suero fisiológico, hasta conseguir una pasta de consistencia húmeda, que será depositada en la cámara pulpar de los fragmentos test, compactándola contra las paredes (Fig.20). Dejamos actuar 20 minutos el blanqueante y transcurrido este tiempo lavamos con agua, secamos y volvemos a repetir el procedimiento pero esta vez dejaremos actuar el producto durante una semana. Se seca el exceso de humedad con pellet antes de colocar la restauración provisional. Durante esta semana los fragmentos fueron sellados provisionalmente con oxido de zinc eugenol (IRM[®], Dentsply Caulk, Milford, DE), que muestra una adecuada estabilidad y sellado de los márgenes (Fig.21). Los fragmentos son almacenados de manera individual en suero fisiológico. Se realizó una renovación semanal del agente blanqueante durante un mes, de manera que se hicieron 4 renovaciones.



Fig. 20. Colocación perborato



Fig. 21. Aplicación IRM

II.2.2. Dientes tratados con blanqueamiento externo e interno

Las muestras son sometidas a blanqueamiento interno siguiendo los mismos pasos que en el grupo anterior, y adicionalmente se efectúa un tratamiento de blanqueamiento externo. Se realizan 2 sesiones con 4 aplicaciones de gel de peróxido de hidrógeno al 35% en cada una de las sesiones (QuickWhite, In-Surgery, Canterbury, UK). La primera sesión se realizó un día después de finalizar el tratamiento ambulatorio y la segunda 7 días después. El gel se aplica sobre la superficie de la corona del diente durante 10 minutos, activado con una lámpara de diodos de alta intensidad de arco completo (LumaCool Whitening System, LumaLite, Inc., Spring Valley, CA). Al finalizar el tiempo el gel es removido mediante aspiración y los restos que permaneciesen sobre la superficie eran retirados con una gasa y después secados.

Después de la segunda sesión se comienza el tratamiento de blanqueamiento externo ambulatorio. Se fabrican unas cubetas adaptadas a los fragmentos construidas con 1mm de espaciador que permitirá la aplicación de peróxido de hidrógeno al 7% (QuickWhit Home Bleaching Kit, Canterbury, UK) durante 60 minutos diarios en un periodo de 3 semanas.

Usando la metodología descrita el color era valorado cada 7 días durante 6 semanas, 4 semanas de blanqueamiento y 2 semanas después de completar el tratamiento.

II.3. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA. PREPARACIÓN DEL ESPECIMEN.

Una vez blanqueadas las muestras, éstas se sometieron a un análisis microscópico con el objetivo de analizar las posibles alteraciones estructurales producidas en la dentina blanqueada y poder compararlas con la estructura dentinaria de los fragmentos no blanqueados.

Los dientes fueron seccionados perpendicularmente al eje axial longitudinal con una sierra diamantada a baja velocidad (Isomet 1000, Buehler Ltd.) bajo refrigeración con agua destilada, para obtener las coronas dentales sin sus raíces. Los especímenes fueron inmediatamente introducidos en glutaraldehído al 2.5% / paraformaldehído 2% en 0.1 M de cacodilato de sodio con pH 7.4 durante 12 horas a 4 °C. Después de la fijación, los especímenes fueron enjuagados con 20 ml de 0.1 M cacodilato de sodio con pH de 7.4 durante 1 hora, con tres cambios, seguido de agua destilada durante 1 minuto. Posteriormente fueron deshidratados en grado ascendente de etanol (25 % durante 20 minutos, 50 % durante 20 minutos, 75 % durante 20 minutos, 95 % durante 30 minutos y 100% durante 60 minutos). Después del final de la etapa de etanol, los especímenes fueron secados mediante inmersión en hexametildisilazano (HMDS, Ted Pella Inc.) durante 10 min, situados dentro de un filtro de papel en viales de vidrio, y secados con aire a temperatura ambiente (Perdigao 1994). Los especímenes fueron montados en matrices A1 con discos adhesivos de carbón (Ted Pella Inc.) y un secado coloidal rápido de

la pintura de plata (Ted Pella Inc.). El recubrimiento metalizado se hizo con oro pálido mediante revestidor por bombardeo iónico E-5100 (Polaron Ltd.) a 20 mA durante 90 segundos. Las coronas dentales fueron observadas bajo FESEM (JEOL JSM-7001F) con un voltaje de aceleración de 15.0 Kv.

II.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los valores de las variables se expresaron en función de la media \pm desviación típica. En los contrastes de medias se empleó el estadístico t de Student, y en ausencia de normalidad, el test de Mann-Whitney. Todos los intervalos de confianza se situaron al 95%. Se aceptaron niveles de significación estadística en un p-valor <0.05 . Todos los análisis fueron realizados empleando el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSSR, ver.14.0; SPSS Inc. Chicago, IL, USA).

III. ESTUDIO DE LA EFICACIA DEL BLANQUEAMIENTO INTERNO DEL PERBORATO EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

III.1. MATERIAL Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Este estudio se realiza con el objetivo de comparar la eficacia del blanqueamiento conseguido con seis diferentes tamaños de partícula del perborato de sodio, teniendo en cuenta que una partícula más pequeña permitiría al ser mezclado con suero fisiológico una mayor superficie de contacto. Para poder conseguir un tamaño más reducido de las partículas, se somete al perborato a un proceso de trituración, realizando un molido hasta conseguir partículas de un tamaño homogéneo, obteniendo 6 granulometrías diferentes.

II.1.1. Molino de bolas

Para la preparación del perborato de sodio empleamos un Molino de bolas (Micromolino vibratorio Pulverisette 0, Fritsch, Idar-Oberstein, GER) (Fig.22) que muele la muestra a través del impacto y la fricción por el cual el mortero vibra de forma electromagnética y el material de molienda transfiere las vibraciones a la bola de pulido. Permite la pulverización y la homogenización de muestras de pequeño tamaño. La trituración dentro de los molinos de bolas se produce por el efecto de choque y fricción entre las bolas y la pared interior del vaso de molienda o mortero (Fig.23). Al comienzo, la trituración de las partículas gruesas se consigue por el efecto

de impacto de la bola de molienda. A continuación, las partículas finas se trituran a través de la fricción por el movimiento de volteo de la bola de molienda. El Molino de bolas es un equipo importante para pulverizar materias que han sufrido previamente un proceso de machacado. Se obtiene una finura controlada con precisión por el tiempo de operación.



Fig.22. Molino de bolas



Fig.23. Mortero

El proceso de molido se realiza en seco, una vez introducido el perborato en el vaso de molienda, seleccionamos el tiempo, que será de 15, 30, 60, 360 minutos y 24 horas, respectivamente, para obtener 6 grupos con granulometrías diferentes, a una amplitud máxima (3 mm), con una vibración de 3000-3600 vibraciones/minuto de forma permanente durante todo el tiempo programado.

II.1.2. Grupos de triturado

Los diferentes grupos de triturado obtenidos son los siguientes:

1.No triturado

El perborato no es sometido a ningún proceso de triturado, así el tamaño de partícula es el tamaño originario, con un tamaño medio de 623,7 μ m.

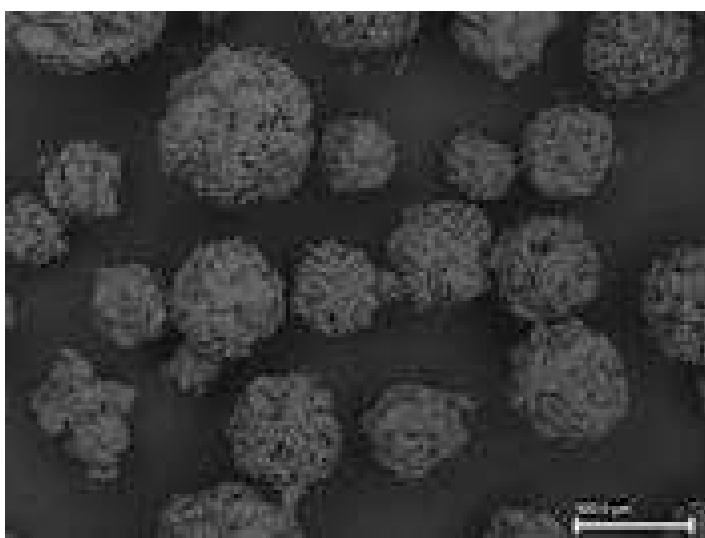


Fig. 24. Partículas de perborato sin triturar

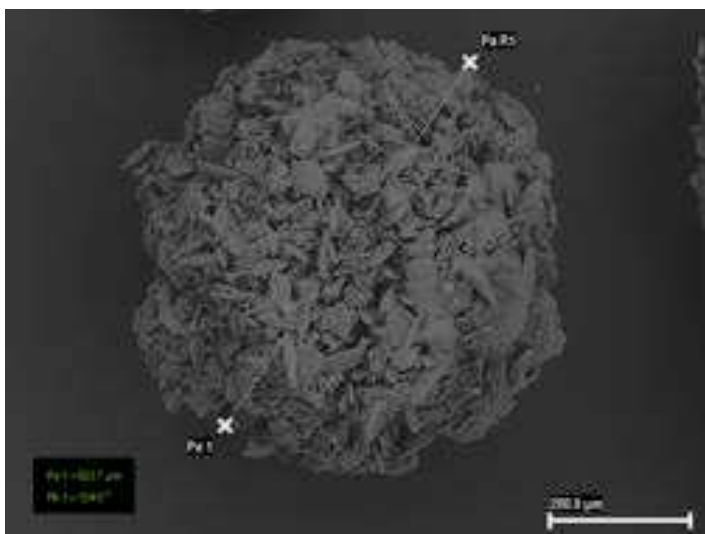


Fig.25. Partícula de perborato no triturada a mayor aumento

2.Grupo II

El tiempo de triturado de las partículas de es de 15 minutos, obteniendo una mezcla homogénea con un tamaño medio de partícula de 150,8 μm .

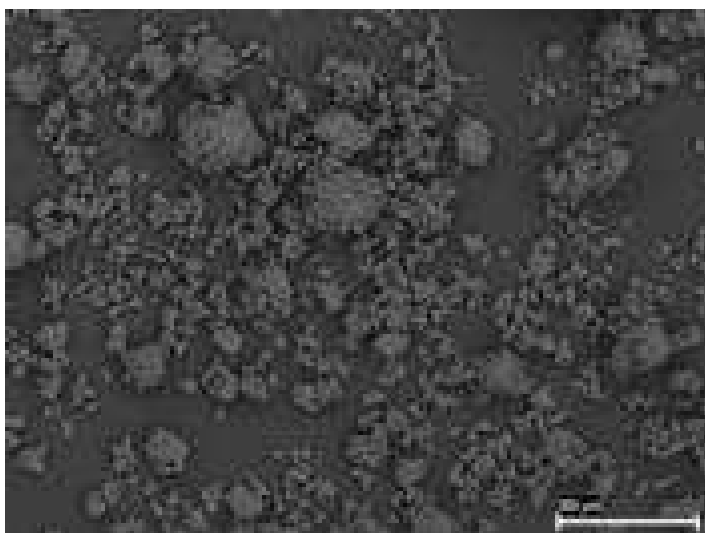


Fig.26 Partículas de perborato trituradas 15 minutos

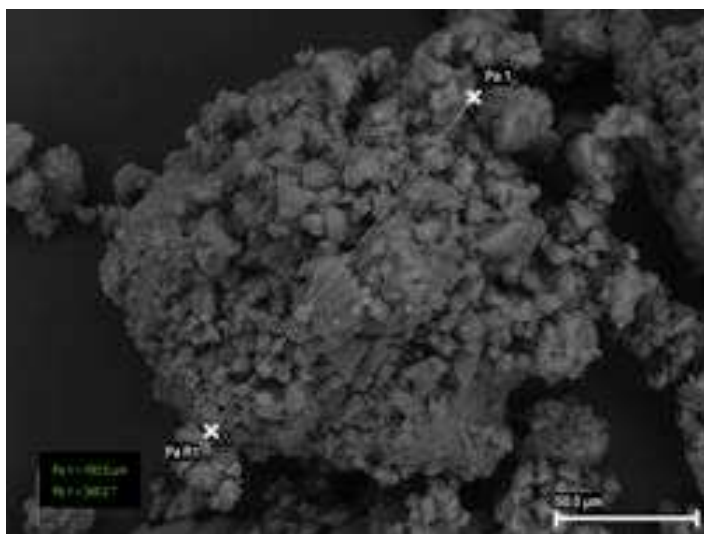


Fig.27. Partícula de perborato triturada 15 minutos a mayor aumento

3. Grupo III

El tiempo de triturado al que son sometidas las muestras en el molino de bolas es de 30 minutos, con lo que obtenemos partículas de tamaño medio de 68,80 μm .

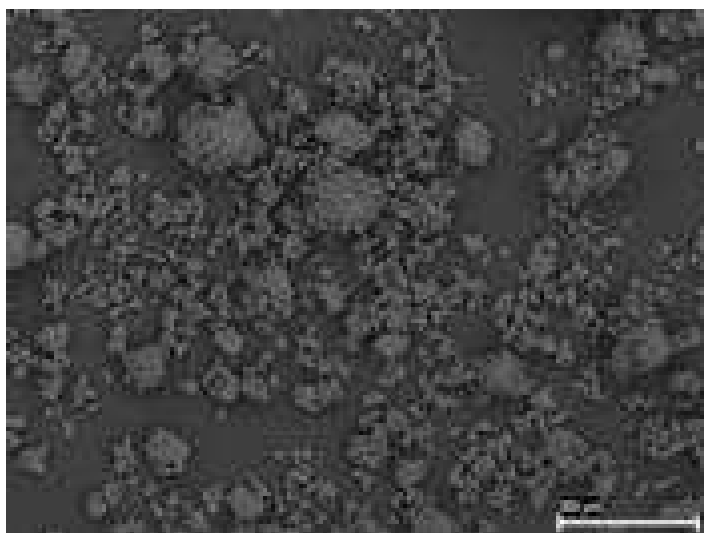


Fig. 28. Partículas de perborato trituradas 30 minutos

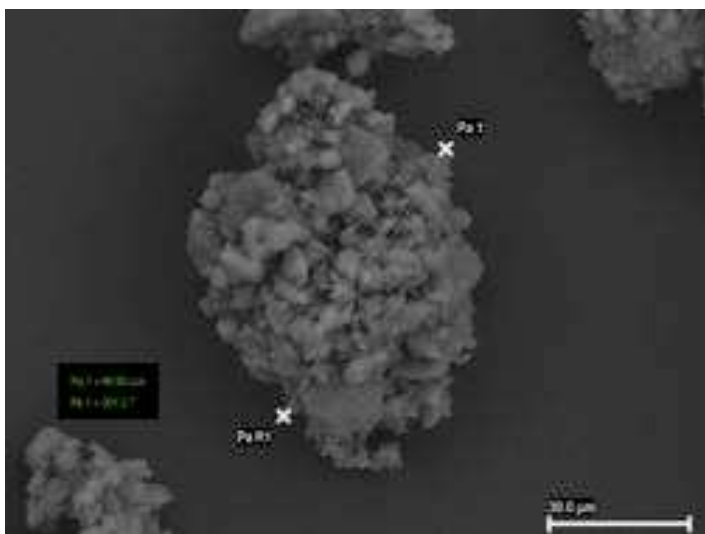


Fig.29. Partícula de perborato triturada 30 minutos a mayor aumento

4.Grupo IV

El tiempo de triturado al que es sometido el perborato de sodio es de 60 minutos. Las partículas obtenidas tienen un tamaño medio de 57,97 μm .

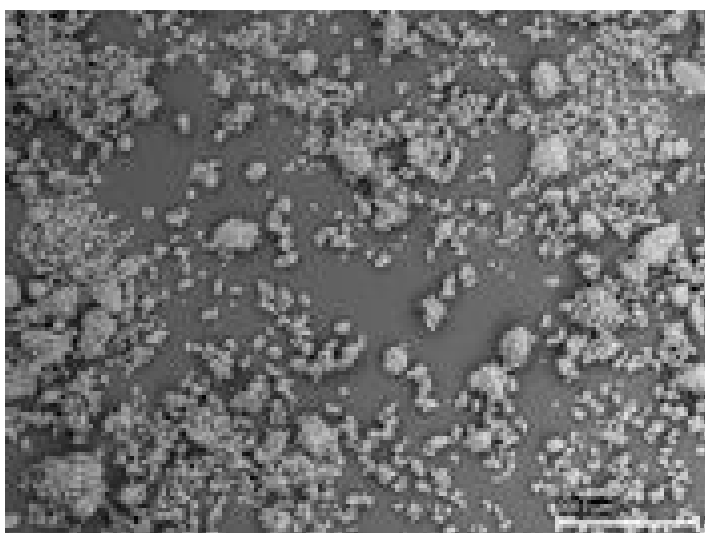


Fig. 30. Partículas de perborato trituradas 60 minutos

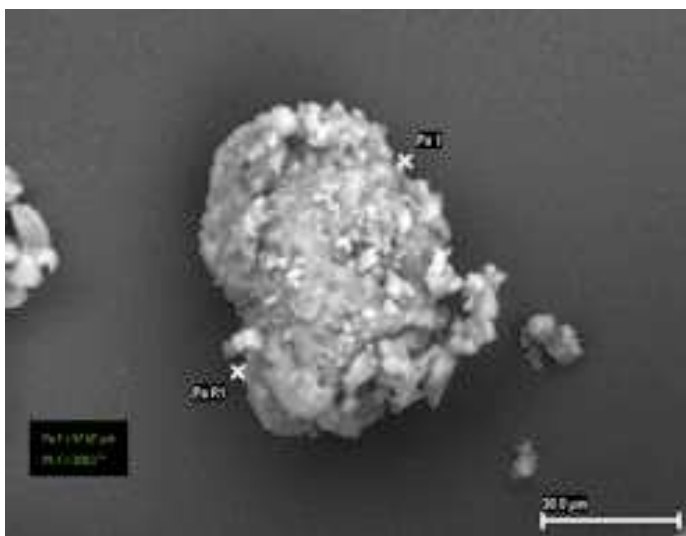


Fig.31. Partícula de perborato triturada 60 minutos a mayor aumento

5. Grupo V

El tiempo de triturado es de 360 minutos, reduciendo las partículas a un tamaño de 40,55 μm .

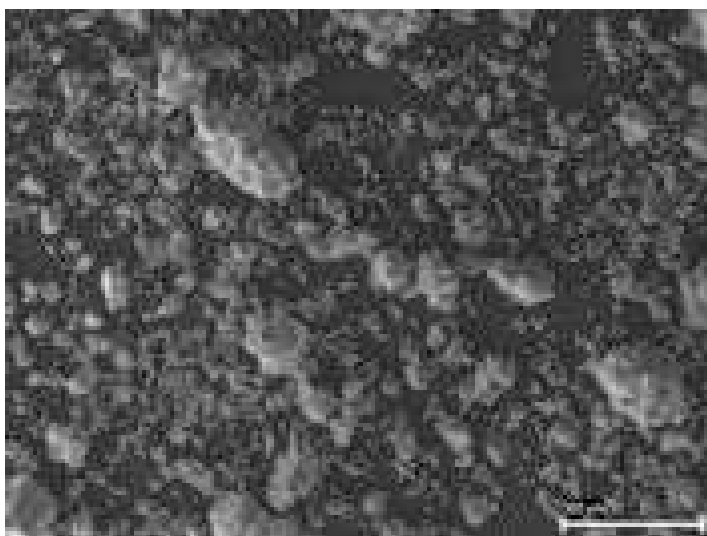


Fig.32. Partículas de perborato trituradas 360 minutos



Fig.33. Partícula de perborato triturada 360 minutos a mayor aumento

6. Grupo VI

El tiempo de triturado es de 24 horas, lo que hace que se consigan partículas de perborato con un tamaño medio de 31,63 μm .

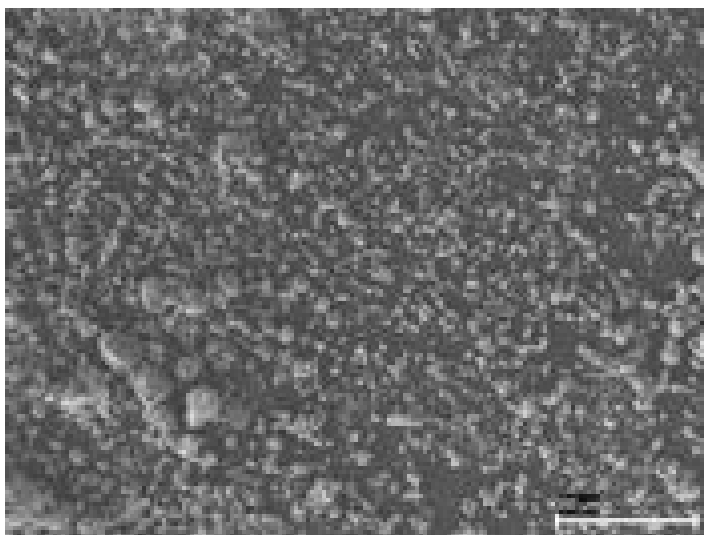


Fig. 34. Partículas de perborato trituradas 24 horas

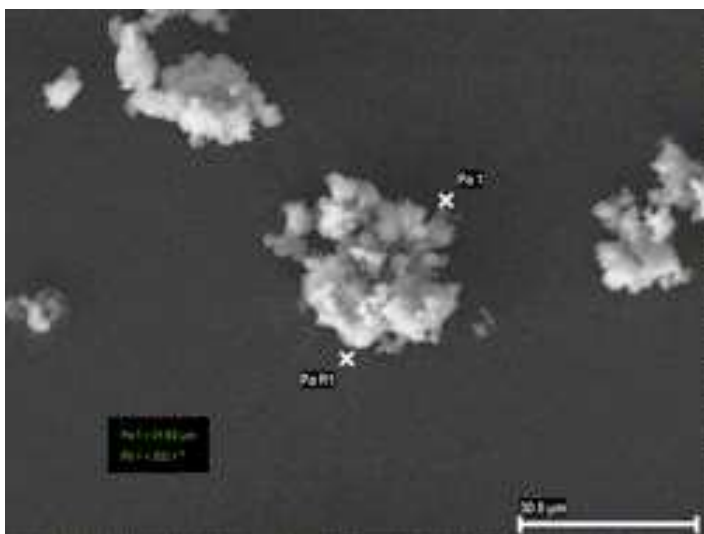


Fig. 35. Partícula de perborato triturada 24 horas a mayor aumento

De esta forma, mediante el proceso de molido obtenemos las diferentes granulometrías que emplearemos en el estudio.

Se prepararon 30 molares inferiores libres de caries, una vez eliminados de las muestra los restos de tejido eran almacenadas en suero fisiológico, renovado diariamente. Previamente los dientes fueron endodonciados, realizando la apertura con una fresa estándar para que el tejido remanente sea aproximadamente del mismo tamaño. Se realiza la endodoncia, de forma rotatoria con Protaper (Dentply-Maillefer, Ballaigues, Switzerland), hasta F2 ó F3 en función del conducto, irrigando con hipoclorito de sodio al 5.25% y la posterior obturación usando una técnica de cono único, de la misma manera que en el anterior estudio.

Los conductos se sellan con vidrio ionómero, retirando 4 mm de gutapercha medidos con sonda desde la línea amelocementaria y rellenando 2mm con la base cavitaria de vidrio ionómero (Vitrebond™, 3M ESPE, USA).

Posteriormente se dividen los dientes en dos partes iguales usando un disco de diamante (Edenta AG, SUI) montado en pieza de mano, con irrigación de agua para obtener dos fragmentos de cada diente, colocando cada uno de ellos en un grupo de estudio.

Los dientes son dispuestos en seis grupos diferentes, de forma aleatoria, con 10 muestras cada uno, que serán tratados cada grupo con perborato de sodio de una de las diferentes granulometrías:

Grupo 1: Tratados con partículas no sometidas a triturado.

Grupo 2: Tratados con partículas trituradas 15 minutos.

Grupo 3: Tratados con partículas trituradas 30 minutos

Grupo 4: Tratados con partículas trituradas 60 minutos

Grupo 5: Tratados con partículas trituradas 360 minutos

Grupo 6: Tratados con partículas trituradas 24 horas.

Cada uno de los grupos es montado en una base de silicona dispuestos en forma de arcada. Elaboramos una cubeta de acetato sobre los dientes

para permitir el posicionamiento del colorímetro en el mismo punto y de forma perpendicular a la superficie medida, de la misma forma que en el estudio anterior.

El blanqueamiento interno se realizó colocando el perborato en el interior de la cámara pulpar en cada uno de los dientes aplicándolo mezclado con suero fisiológico y dejándolo actuar durante 20 minutos, una vez pasado este tiempo, se lava con agua y seguidamente se vuelve a aplicar en el interior de la cámara y se sella con IRM[®] dejándolo actuar durante 1 semana y así hasta 4 veces consecutivas.

Se medirá el color en cada grupo con el espectofotómetro Easyshade[®] Easyshade[®] (Vita Zahnfabrik, H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany), recogiendo los valores para los parámetros a^* , b^* , L^* y ΔE^* , previo al comienzo del tratamiento, al finalizar cada semana, y durante 2 semanas más después de terminado el tratamiento.

III.2. ANÁLISIS DE DATOS

Los valores de las variables se expresaron en función de la media \pm desviación típica. En el análisis estadístico para las variables a^* , b^* , L^* y ΔE^* , se empleó un Modelo mixto con diente como efecto aleatorio. Pero para el estudio de la evolución para ΔE^* a través del triturado dentro de cada tiempo, se ha aplicado una Anova de medidas repetidas. Además se

han aplicado transformaciones logarítmicas para obtener normalidad y homocedasticidad en las variables.



Resultados

I. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO Y MICROSCÓPICO DE DIENTES SOMETIDOS A BLANQUEAMIENTO INTERNO

I.1. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COLOR ANTES Y DESPUÉS DEL BLANQUEAMIENTO DENTAL

	Estado	Media	Desviación	Error típ
		típ		
L*	Inicial	66,0333	7,13109	2,37703
	Final	74,5333	5,06606	1,68869
a*	Inicial	7,2556	3,96141	1,32047
	Final	3,2889	1,46837	0,48946
b*	Inicial	37,2667	4,86749	1,62250
	Final	36,8889	3,46101	1,15367
ΔE	Inicial	76,4211	6,86314	2,28771
	Final	83,3266	4,60804	1,53601

Tabla 1. Datos de color para todos los parámetros

Estos son los valores estadísticos obtenidos en donde se recogen los cambios de color antes y después del blanqueamiento para los parámetros de color estudiados, a*, b*, L*, ΔE , en los que podemos observar que en estos 2 últimos aumenta su valor al finalizar el procedimiento, mientras que en a* y b* disminuyen lo que indica que se produce blanqueamiento en estas muestras.

I.1.1.1. L*

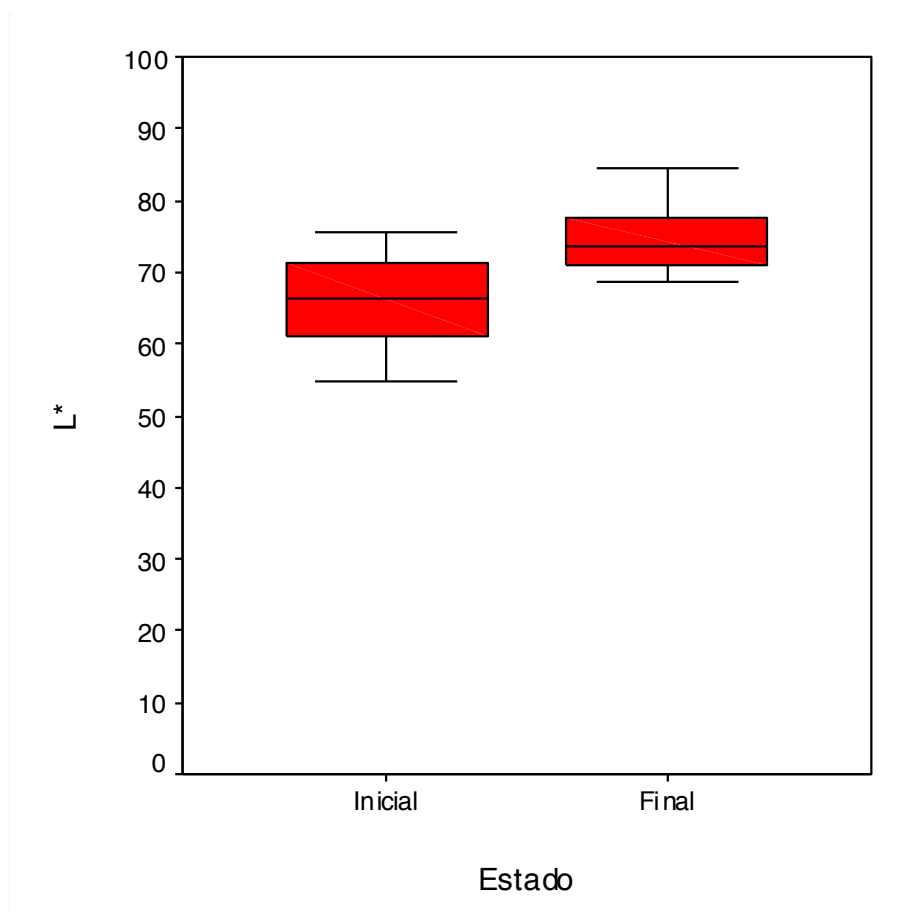


Fig.36. Diagrama de cajas para L*

En el diagrama observamos como los valores obtenidos para L* son significativamente superiores ($p=0,038$) después del tratamiento de blanqueamiento, con una media inicial de 66,033 para conseguir un valor al final del tratamiento de 74, 533.

I.1.2. a^*

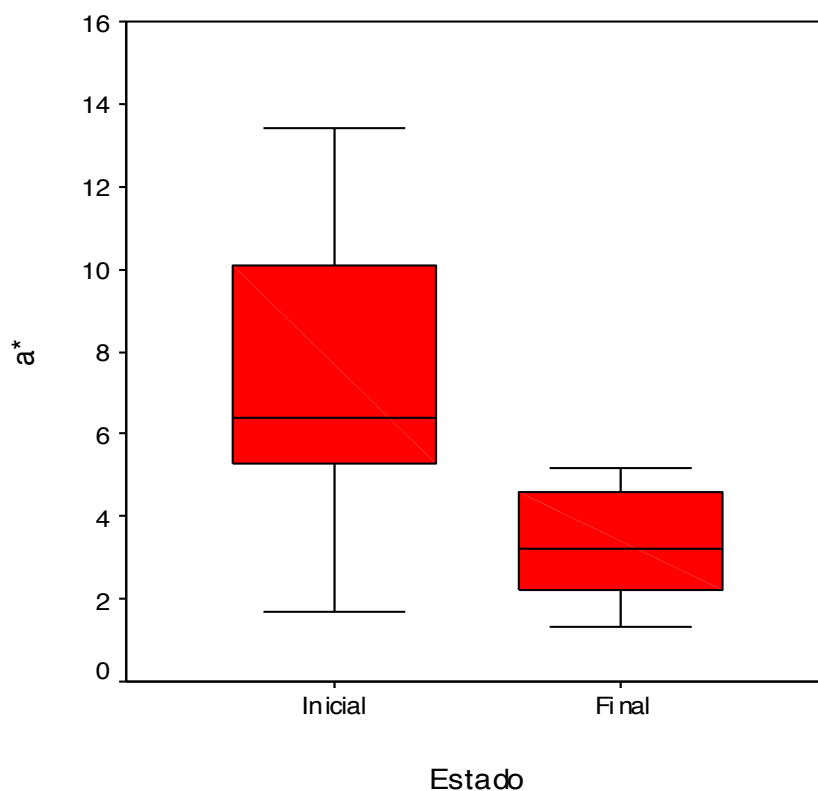


Fig.37. Diagrama de cajas para a^*

Observamos como la media al final del tratamiento (3,28) disminuye de forma significativa, $p=0.013$, con respecto a la media inicial (7,25), lo que nos indica una disminución de la saturación para este parámetro y por tanto un aclaramiento del color.

I.1.3. b*

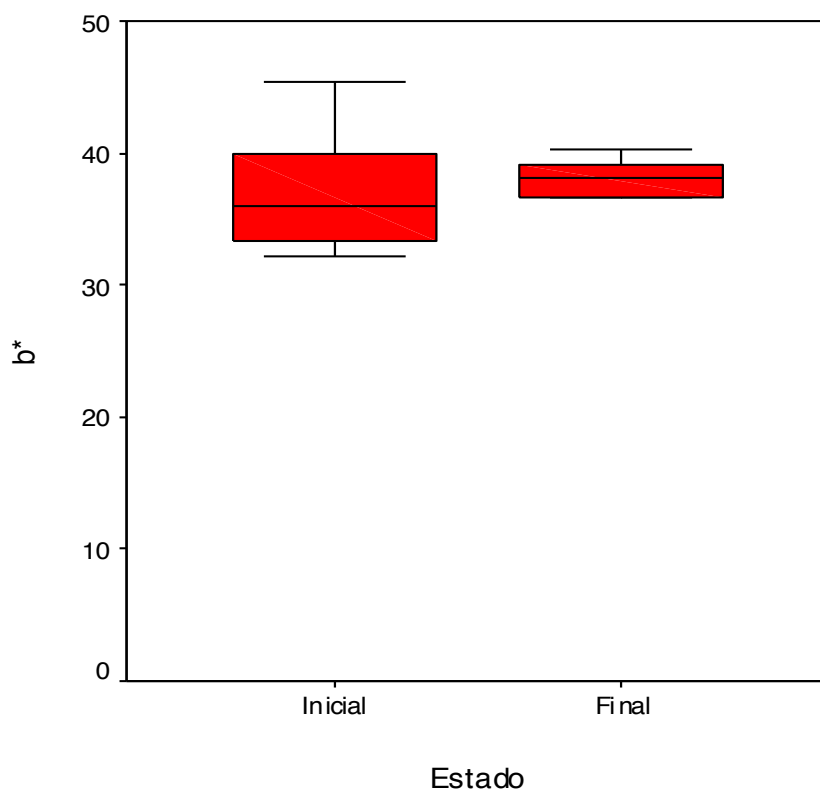


Fig.38. Diagrama de cajas para b^*

En los resultados para el parámetro b^* , observamos como se produce un incremento ligero en los valores finales (36,888) en relación a la media inicial (37,266) pero no existe diferencia significativa ($p = 0,825$).

I.1.4. ΔE^*

Para poder obtener un valor único de color que nos permita estudiar estadísticamente mejor esta variable construimos una función E^* (CIE) tal que $E^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2 + (L^*)^2}$ a partir de la cual obtenemos los siguientes valores para cada uno de los estados.

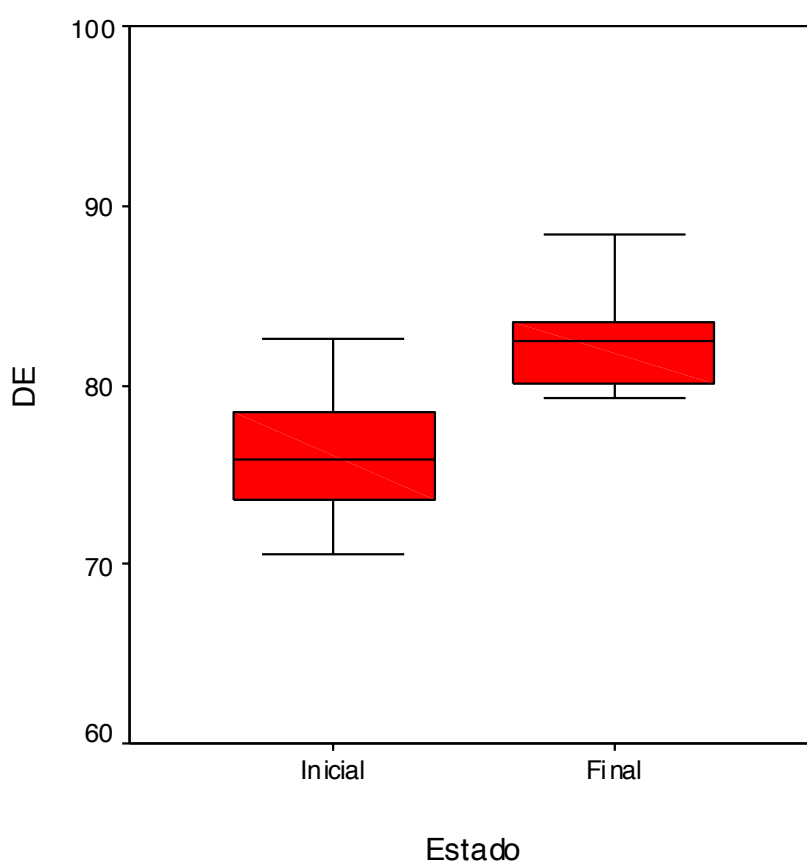


Fig.40. Diagrama de cajas ΔE

Al observar la tabla vemos como hay un incremento en el ΔE que indica un blanqueamiento significativo ($p=0.012$).

Pero la verdadera distancia promedio entre los dos estados sería la distancia euclídea entre los tres parámetros de color para cada estado:

$$E^* = \sqrt{(a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2 + (L_2^* - L_1^*)^2}$$

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típ.
ΔE	3,50	20,25	11,631	5,1330

Tabla 2. Valores para ΔE

Es decir 11,63, es la diferencia de color entre la muestras control y las muestras blanqueadas. En general, todos los dientes cambian de color después del blanqueamiento interno al que han sido sometidos.

I.2. ESTUDIO MEDIANTE MEB DE LAS SUPERFICIES DENTALES

Se realiza estudio de microscopía de las muestras de ambos grupos, control y test para la valoración de las posibles alteraciones provocadas por el blanqueamiento de la diferentes superficies de los dientes.

I.2.1.Esmalte

La superficie del esmalte en ambos grupos no presentan diferencias entre ellos y no se observan alteraciones en su estructura. En la figura 41 se observa un corte longitudinal del esmalte del grupo control, en donde

se observan los prismas del esmalte como bastones irregularmente paralelos.

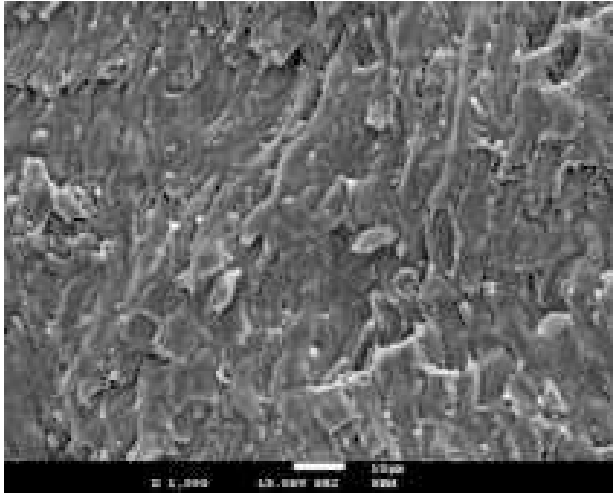


Fig 41 . Microfotografía del esmalte no blanqueado a 1000 aumentos.

En la siguiente imagen vemos el esmalte de una muestra del grupo test, observándose una imagen semejante con la misma disposición y sin apreciarse alteraciones.

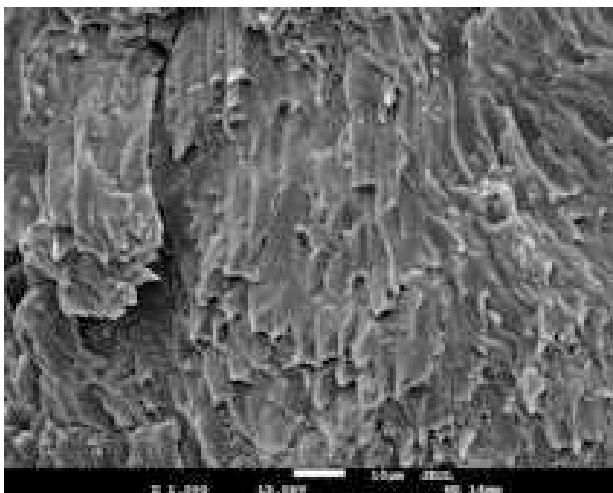


Fig. 42. Microfotografía del esmalte después de la aplicación perborato de sodio

I.2.2. Dentina

En la figura 43 podemos observar un corte longitudinal de la dentina en muestra no blanqueada, observando su estructura característica, con una estructura homogénea sin presentar alteraciones ni en la dentina inter ni peritubular, mostrando en la imagen los túbulos dentinarios intactos.

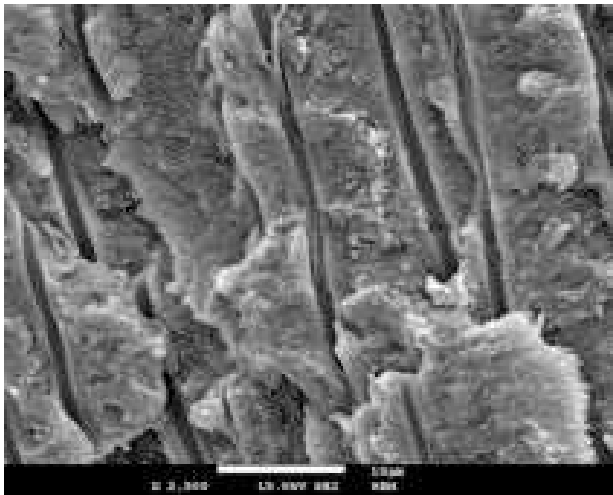


Fig.43. Microfotografía dentina no blanqueada

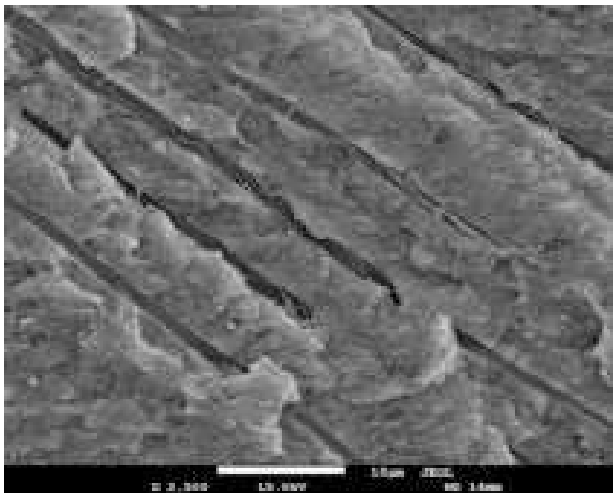


Fig.44. Microfotografía dentina blanqueada

En la figura 44 se muestra una sección dentinaria en la que no observamos ningún cambio en su morfología después de la aplicación del perborato de sodio.



Fig.45. Túbulos dentinarios en dentina blanqueada

Esta imagen a elevada magnificación (x 20000) de un fragmento de dentina tratada con perborato de sodio, nos muestra el interior de los túbulos dentinarios conteniendo fibras de colágeno con su bandeo característico.

II. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO Y MICROSCÓPICO DE DIENTES SOMETIDOS A BLANQUEAMIENTO EXTERNO E INTERNO CONJUNTAMENTE VERSUS BLANQUEAMIENTO INTERNO

II.1. ESTUDIO COLORIMÉTRICO

II.1.1. L*

Grupo I

A lo largo de las 6 semanas de blanqueamiento, en el grupo I los valores medios fluctúan sin que existan diferencias significativas ($p=0.194$).

Grupo II

Los valores medios aumentan significativamente ($p=0.013$) en la tercera semana, disminuyendo en las siguientes semanas y terminando en la semana 6, con un valor medio de 79.0 ± 4.9 , que es ligeramente mayor que la media inicial, de 75.4 ± 7.0 , pero sin que exista diferencia significativa ($p= 0.12$).

El valor medio final en el grupo II es de 79.0 ± 4.9 , que es superior a la media que se consigue en el grupo I, 75.8 ± 5.2 pero esta diferencia no es claramente significativa ($p=0.054$).

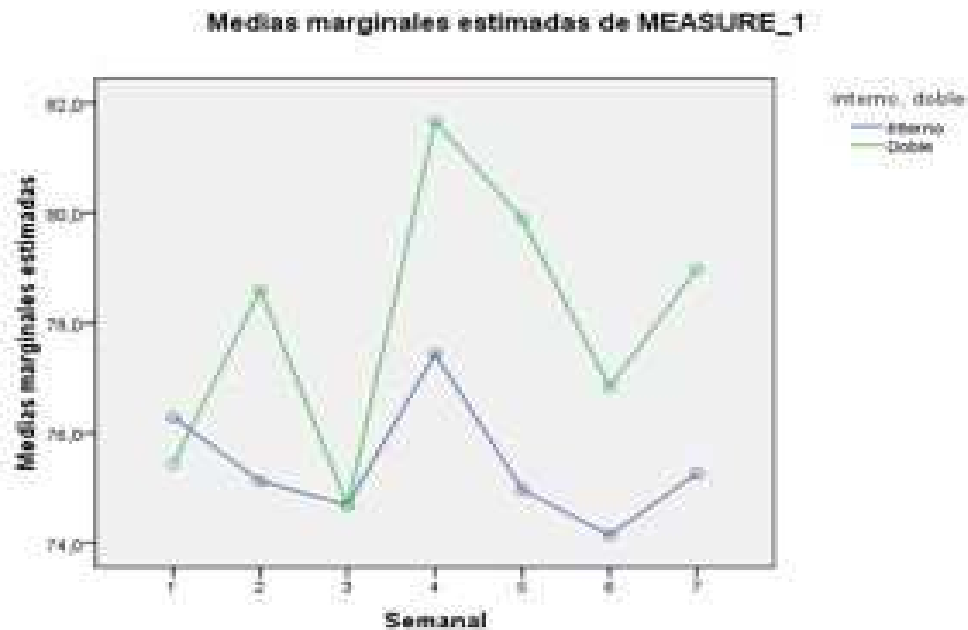


Fig. 46. Medias para L* en ambos grupos

II.1.2. a*

Grupo I

Los valores medios en este grupo después de una semana disminuyen significativamente cada semana y el valor medio obtenido en la sexta semana es de -0.89 ± 1.58 , que es significativamente inferior ($p < 0.001$) que la media inicial de 2.47 ± 1.7 .

Grupo II

Los valores medios disminuyen significativamente desde la primera semana de tratamiento hasta la sexta semana consiguiendo en la última medición un valor de -1.87 ± 0.99 que es significativamente inferior que el valor inicial de 2.73 ± 2.55 ($p < 0.001$).

El valor medio en la sexta semana del grupo II es significativamente inferior que el obtenido para el grupo I ($p=0.025$).

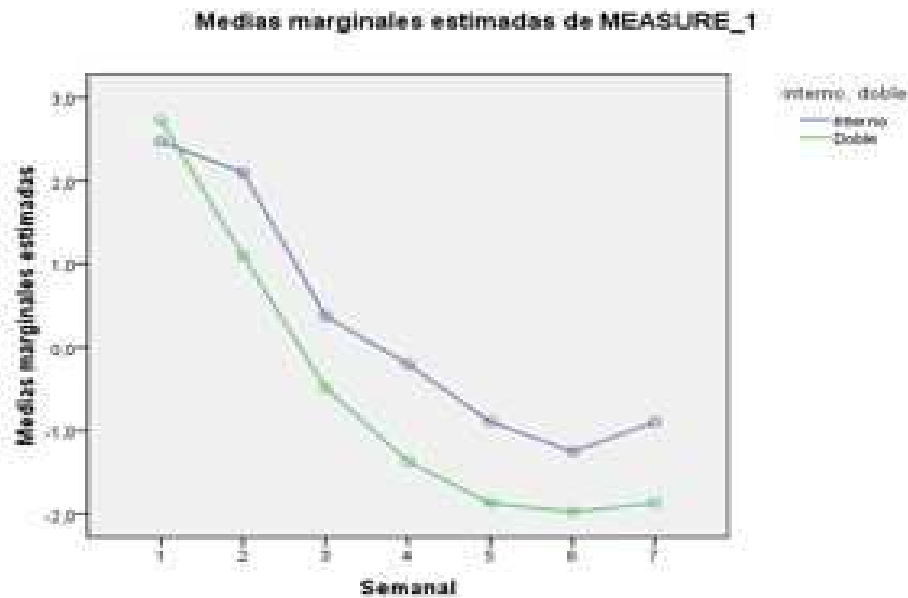


Fig. 47. Medias para a*

II.1.3. b*

Grupo I

Las medias van disminuyendo a lo largo de las semanas. La media obtenida en la semana 6, 18.0 ± 6.1 , es significativamente inferior que los valores medios basales ($p < 0.001$).

Grupo II

Al igual que en el grupo anterior los valores disminuyen con el transcurso de las semanas. La media de la última semana de blanqueamiento (12.7 ± 5.6) es significativamente inferior que la media

inicial. La media en la semana 6 del grupo II, es significativamente menor que el correspondiente al grupo I.

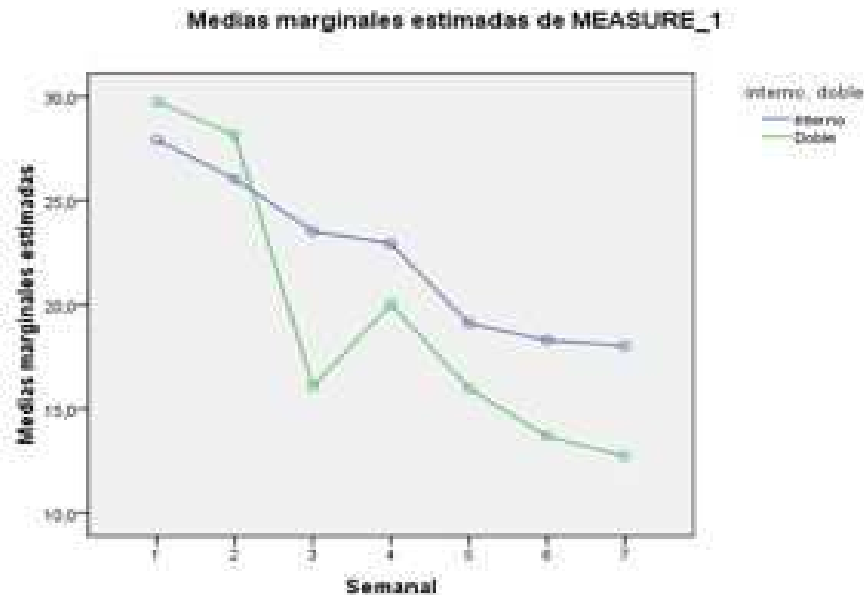


Fig.48. Medias para b*

II.1.4. ΔE

Grupo I

La media de los valores va incrementando significativamente ($p < 0.001$) desde la primera semana.

Grupo II

Los valores obtenidos a lo largo de las semanas son progresivamente superiores y de forma significativa ($p < 0.001$).

El valor medio que se consigue en la semana 6 en el grupo II, 21.93 ± 6.74 es mayor que el valor que corresponde al grupo I, 15.43 ± 6.57 ($p= 0.004$).

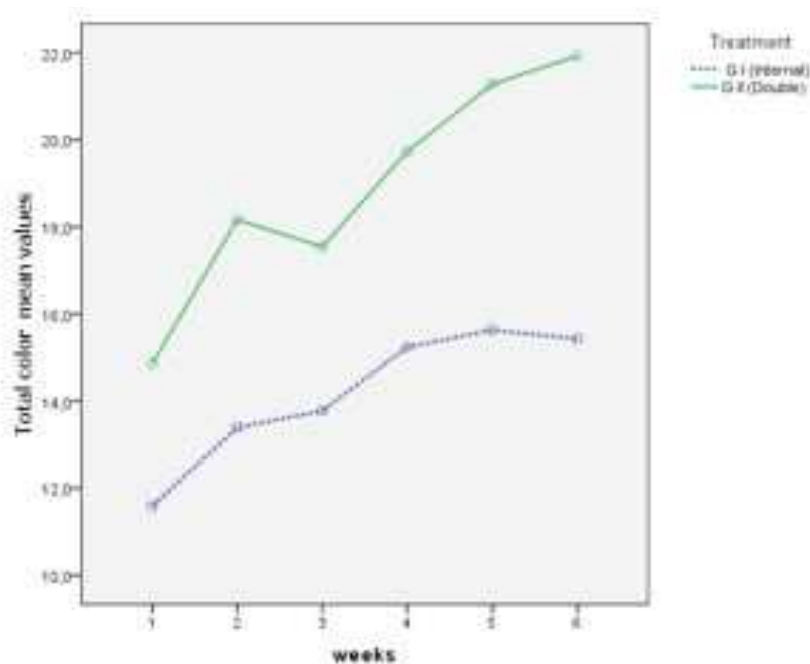


Fig.49. Cambio de color a lo largo del tiempo

II.2. ESTUDIO MEDIANTE MEB DE LAS SUPERFICIES DENTALES

El estudio mediante microscopía electrónica de la superficie de los especímenes del esmalte del grupo I, aquellos que son sometidos exclusivamente a blanqueamiento interno, presentan una morfología normal, observando las superficies no afectadas con las características morfológicas típicas del esmalte superficial, sin primas del esmalte y en algunos casos son visibles las líneas de Perikymata, ranuras, surcos.

En el grupo II, en el que incluimos las muestra que han sido tratadas también con blanqueamiento externo, vemos que existen áreas de microporosidad aunque ésto no es el patrón común. No se observan disolución ni en el núcleo de los prismas ni en la periferia, típico de un patrón erosivo.

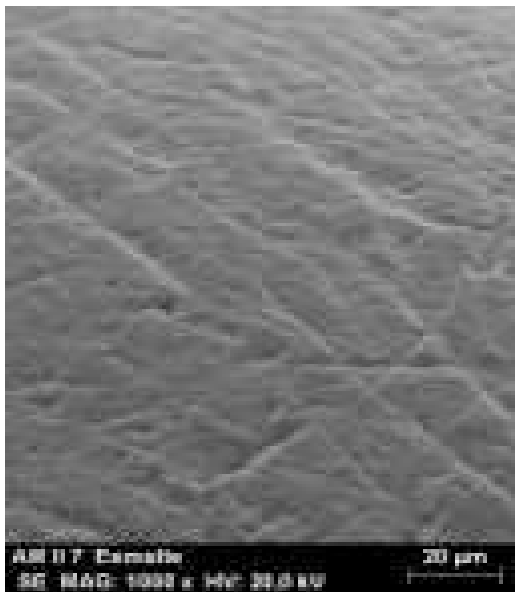


Fig.50.a. Esmalte no blanqueado

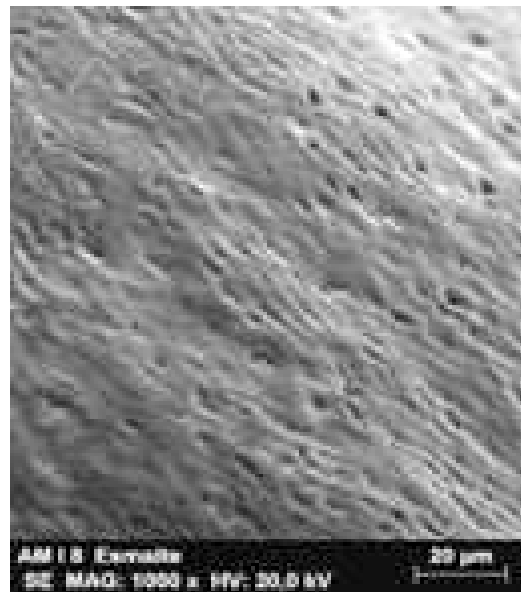


Fig.50.b. Esmalte blanqueado

En la fig.50.a. observamos una fotografía del esmalte en una muestra que no fue sometida a blanqueamiento, pudiendo ver las características de superficie propias del esmalte como las líneas de Perikymata (x 1000).

En la fig.50.b. vemos una imagen del esmalte en dientes tratados con blanqueamiento externo, en donde podemos ver microporosidades en la superficie del mismo.

Las superficie de la dentina en la cámara pulpar estaba intacta. No existen signos de dismineralización. No se ven microporosidades y las fibras de colágeno no son visibles, indicando que la dentina no es afectada por el tratamiento.

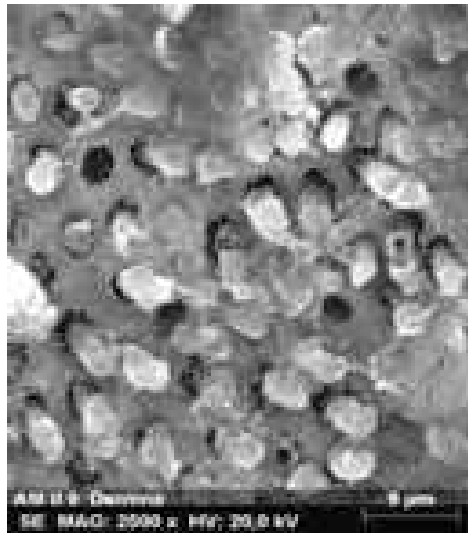


Fig. 51. Corte trasversal túbulos

En la figura 51 se ve una sección transversal de los túbulos dentinarios que muestran extrusión del proceso odontoblástico (X 2500).

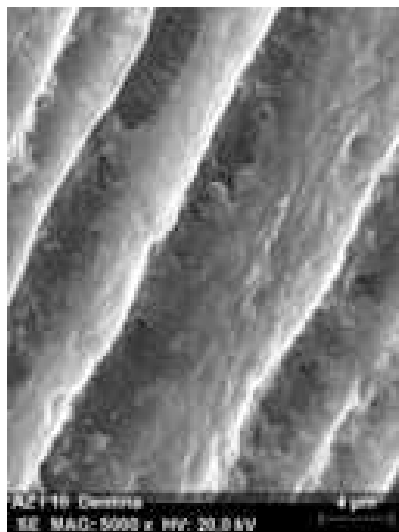


Fig.52. Imagen lontitudinal túbulos

En esta imagen se observan los túbulos longitudinalmente, intactos y paralelos entre sí (X 5000).

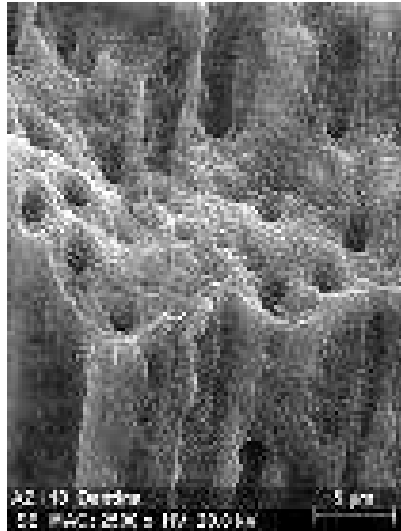


Fig. 53. Fragmento dentina

Esta fotografía muestra un fragmento de dentina en la que se observan los túbulos dentinarios con exposición de la luz de éstos (x 2500).

III. ESTUDIO DE COLOR DE LOS DIENTES SOMETIDOS A BLANQUEAMIENTO CON DISTINTOS TRITURADOS

A continuación se expondrán los resultados obtenidos en el trabajo realizado. Primeramente se exponen los resultados colorimétricos en el espacio CIELAB obtenidos para los grupos experimentales. Seguidamente se mostrará el análisis estadístico empleado para el estudio de las variables consideradas.

Como se describió anteriormente las muestras son agrupadas aleatoriamente en 6 grupos que van a ser sometidos a blanqueamiento con perborato de sodio sometido a diferentes tiempos de triturado.

Los grupos son los siguientes:

Grupo I. El perborato no es triturado

Grupo II. 15 minutos de triturado

Grupo III. 30 minutos de triturado

Grupo IV. 60 minutos de triturado

Grupo V. 360 minutos de triturado

Grupo VI. 24 horas de triturado

Las mediciones mediante espectrofotometría se han realizado al inicio, y sucesivamente después de cada semana de blanqueamiento y hasta 2 semanas después de terminado el tratamiento. Cada medición se repite hasta conseguir 3 resultados iguales de forma consecutiva.

Se recogieron los valores correspondientes al espacio CIELab y se calculó ΔE para conocer la variación de color sufrida.

III.1. VARIABLES a^* , b^* , L^* EN DISTINTOS TIEMPOS

Se observa en el diagrama de cajas que la variable a^* va disminuyendo a lo largo de las semanas, circunstancia que indica una disminución de la saturación de color en este eje, hasta la semana 5, aumentando ligeramente en la última semana.

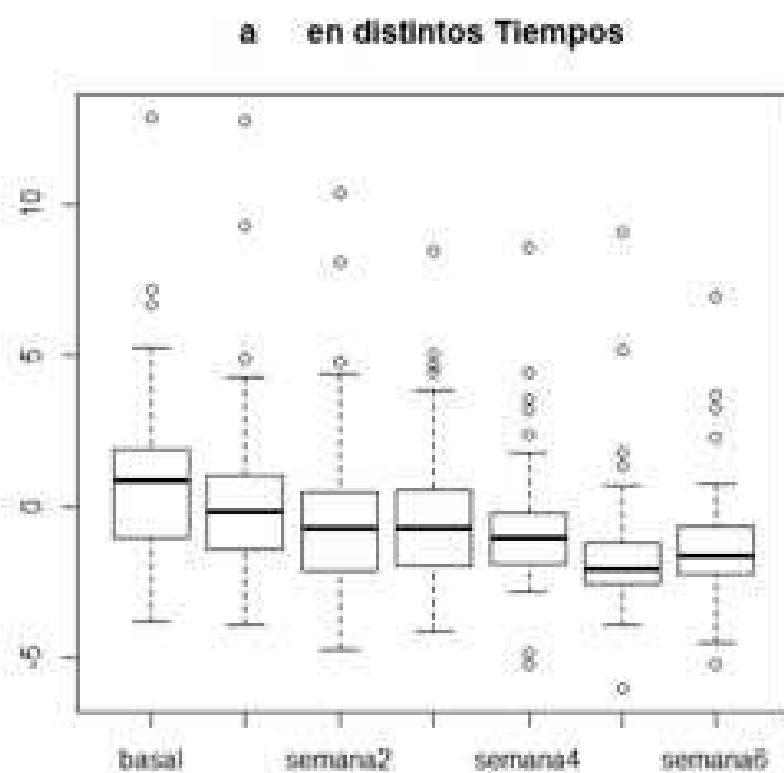


Fig.54. Comparación del color para el parámetro a^* a lo largo de las semanas

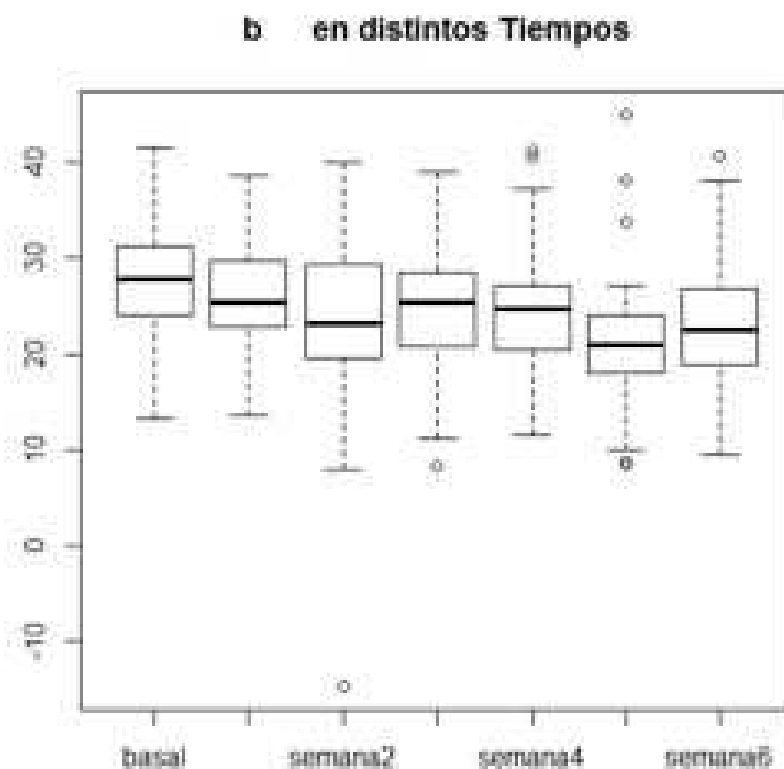


Fig.55. Comparación del color para el parámetro b^* a lo largo de las semanas

En la figura se observa como los valores para b^* disminuyen hasta la semana 2, fluctuando en las siguientes semanas, incrementando ligeramente en la última, pero con un valor menor que la media inicial.

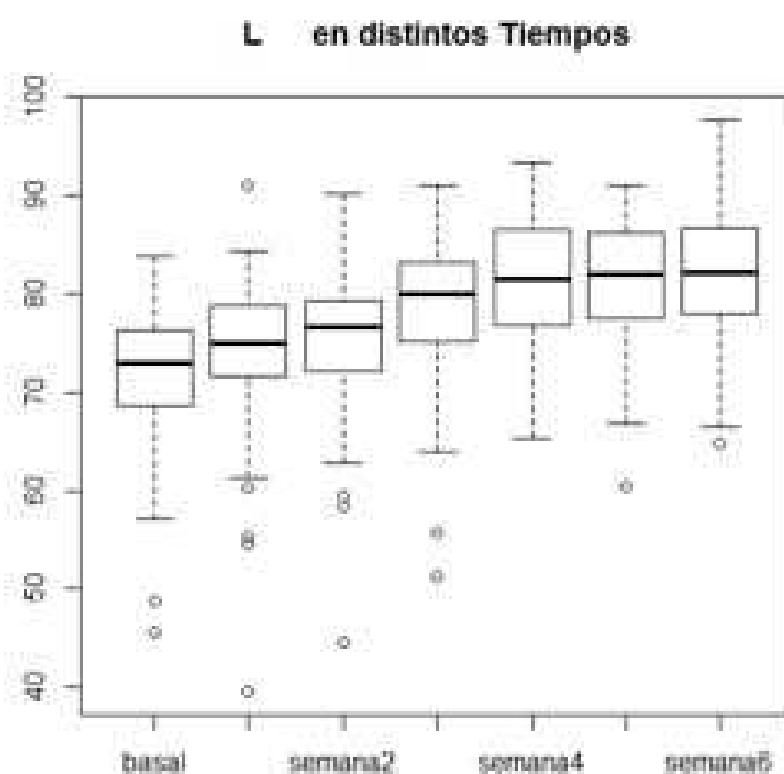


Fig.56. Comparación del color para el parámetro L^* a lo largo de las semanas

Observamos como L^* va incrementando en todas las semanas aproximándose con respecto a la situación inicial al valor 100, lo que nos indica un incremento en la luminosidad y por tanto blanqueamiento.

III.2. VARIABLES PARA a^*

A continuación se muestran los datos estadísticos, la media, la desviación estándar y el rango de distribución de los valores obtenidos

para el parámetro a^* , para todos los grupos y en los diferentes momentos del tratamiento.

TIEMPO	Grupo	Muestra	Media	sd	Máximo	Mínimo
0	1	10	0,300	3,024	7,200	-3,800
0	2	10	3,750	4,029	12,900	-1,300
0	3	10	1,65	1,80	4,200	-1,400
0	4	10	-0,20	2,016	4,200	-3,00
0	5	10	0,69	1,342	2,60	-1,30
0	6	10	-0,20	1,79	3,20	-2,70
1	1	10	-0,410	2,356	4,300	-2,500
1	2	10	1,900	4,301	12,800	-2,700
1	3	10	0,42	2,53	4,90	-3,90
1	4	10	0,01	3,39	9,30	-2,90
1	5	10	0,60	1,624	2,600	-2,00
1	6	10	-0,54	0,88	0,80	-1,50
2	1	10	-1,680	1,889	1,900	-3,200
2	2	10	1,14	3,85	10,40	-3,200
2	3	10	0,040	2,505	4,800	-4,700
2	4	10	-0,120	3,134	8,100	-3,100
2	5	10	0,130	1,408	2,500	-1,700
2	6	10	-1,770	1,243	0,80	-3,600
3	1	10	-1,300	2,502	4,500	-3,400
3	2	10	0,970	3,519	8,500	-3,600
3	3	10	0,08	2,36	4,70	-4,10
3	4	10	-0,760	1,830	3,900	-3,00
3	5	10	-1,60	1,06	0,20	-3,20
3	6	10	0,08	2,36	4,70	-4,10
4	1	10	-1,070	1,503	2,400	-2,500
4	2	10	0,550	3,553	8,600	-5,200
4	3	10	-0,990	2,225	3,600	-4,800
4	4	10	-0,390	1,951	4,500	-2,300
4	5	10	-1,350	0,917	0,500	-2,600
4	6	10	-1,170	0,984	0,400	-2,800
5	1	10	-1,82	1,15	0,70	-3,60
5	2	10	-0,890	3,964	9,100	-6,00
5	3	10	-1,10	1,24	1,80	-2,30
5	4	10	-1,680	2,603	5,200	-3,900
5	5	10	-1,48	1,04	0,40	-2,80
5	6	10	-2,620	0,480	-1,900	-3,600
6	1	10	-1,99	2,42	3,30	-4,40
6	2	10	-0,710	3,072	7,00	-5,200
6	3	10	-0,98	2,20	3,70	-4,50
6	4	10	-1,450	1,651	2,300	-3,900
6	5	10	-1,620	1,050	0,500	-3,500
6	6	10	-1,410	1,024	0,200	-2,800

Tabla 3.valores estadísticos obtenidos para a^*

III.2.1. a^* en distintos tiempos

Las medias obtenidas para a^* se muestran en la siguiente tabla

Grupos	Basal	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	0,300 $\pm 3,024$	-0,410 $\pm 2,356$	-1,680 $\pm 1,889$	-1,300 $\pm 2,502$	-1,070 $\pm 1,503$	-1,82 $\pm 1,15$	-1,99 $\pm 2,42$
2	3,75 $\pm 4,029$	1,90 $\pm 4,301$	1,14 $\pm 3,85$	0,97 $\pm 3,519$	0,550 $\pm 3,553$	-0,890 $\pm 3,964$	-0,710 $\pm 3,072$
3	1,65 $\pm 1,80$	0,42 $\pm 2,53$	0,040 $\pm 2,505$	0,08 $\pm 2,36$	-0,990 $\pm 2,225$	-1,10 $\pm 1,24$	-0,98 $\pm 2,20$
4	-0,20 $\pm 2,016$	0,01 $\pm 3,39$	-0,120 $\pm 3,134$	-0,76 $\pm 1,830$	-0,390 $\pm 1,951$	-1,680 $\pm 2,603$	-1,450 $\pm 1,651$
5	0,69 $\pm 1,624$	0,60 $\pm 1,624$	0,130 $\pm 1,408$	-1,6 $\pm 1,06$	-1,35 $\pm 0,917$	-1,48 $\pm 1,04$	-1,620 $\pm 1,05$
6	-0,20 $\pm 1,79$	-0,54 $\pm 0,88$	-1,77 $\pm 1,243$	0,08 $\pm 2,36$	-1,170 $\pm 0,984$	-2,620 $\pm 0,480$	-1,410 $\pm 1,024$

Tabla 4. Valor medio del color para el parámetro a^* en los distintos grupos a lo largo del tiempo

Grupo I

Las medias obtenidas, van disminuyendo desde el inicio hasta hacerse cada vez más negativas ($0,300 \pm 3,024$), obteniéndose el valor más negativo en la semana 6 ($-1,99 \pm 2,42$), como podemos ver en el diagrama (fig.57). Encontramos una disminución significativa de la semana 1 a la semana 2 (0.012), y a partir de aquí no encontramos diferencias significativas en la evolución entre las semanas. Si vemos relevancia estadística de la semana 5 (0.006) y 6 (0.002) con respecto a la semana 1. Encontramos además diferencias significativas entre basal con la semana 4 (0.007), con la semana 5 (<0.001) y con la semana 6 (<0.001). Por tanto se produce blanqueamiento hasta la semana 6.

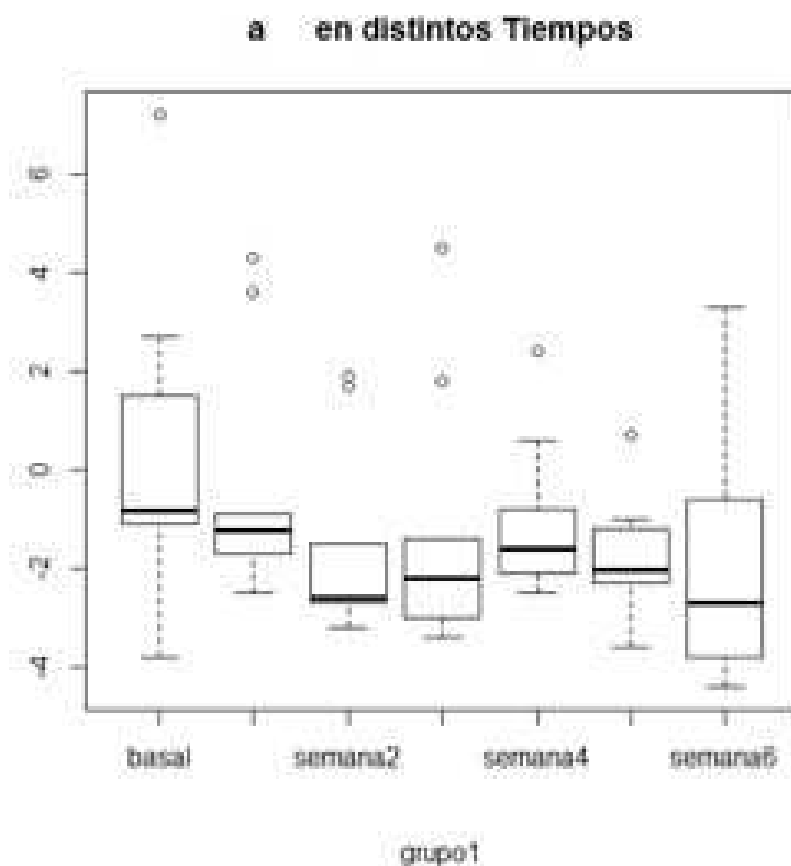


Fig.57. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 1

Grupo 2

Desde el color basal los valores obtenidos van aproximándose a 0 a medida que se avanza en semanas, con un valor de 0,550 (3,553) en la semana 4 y a partir de aquí las medias van haciéndose negativos en la semana 5 ($-0,890 \pm 3,964$) y 6 ($-0,710 \pm 3,072$), de forma significativa en todas las semanas con respecto a la situación inicial (<0.001), indicando que se produce blanqueamiento desde el inicio. Encontramos también significación estadística de la semana 4 en relación a la semana 5 (0.002). Por tanto se produce blanqueamiento hasta la semana 5 (Fig. 58).

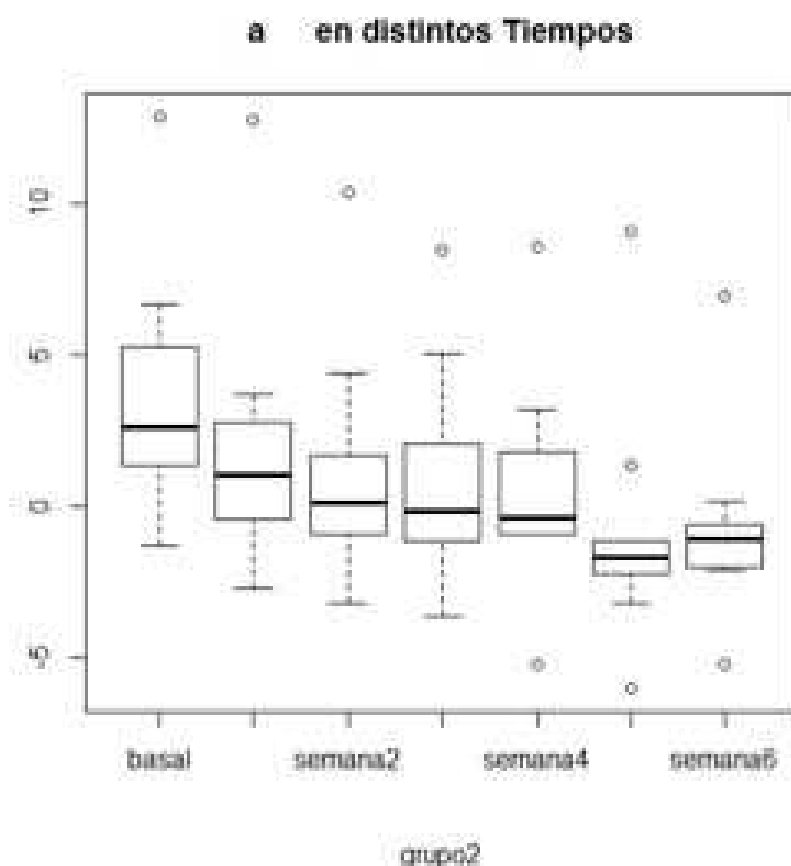


Fig.58. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 2

Grupo 3

Al igual que en los grupos anteriores el grado de saturación va disminuyendo a lo largo de las semanas aproximándose desde el inicio al 0 en la semana 3 ($0,08 \pm 2,36$) y a partir de aquí los valores se van haciendo negativos.

Encontramos diferencias significativas de las medias en basal a las semanas 2 (0.014), semana 3 (0.016), semana 4 ($<.001$), semana 5 ($<.001$) y 6 ($<.001$). También encontramos significación de la semana 1

con respecto a la semana 5 (0.006), semana en la que el valor se hace negativo, y con respecto a la semana 6 (0.002). Así consideramos que el blanqueamiento comienza de forma significativa en el grupo 3 con respecto al parámetro a^* a partir de la segunda semana y los dientes continúan blanqueando hasta hacerlo de forma significativa en la semana 5 (fig.59).

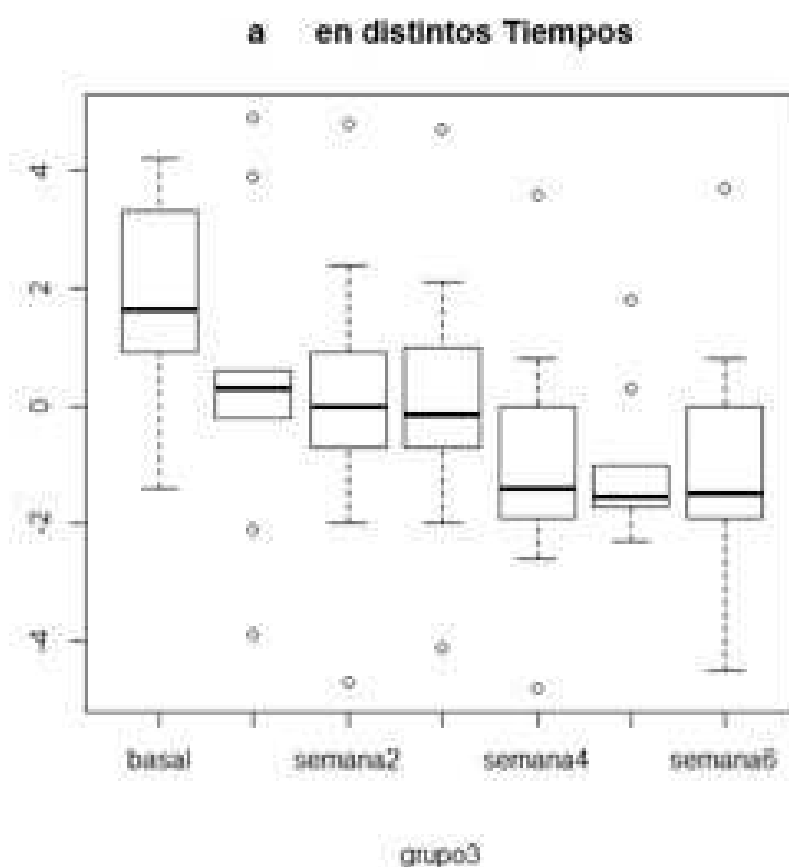


Fig.59. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 3

Grupo 4

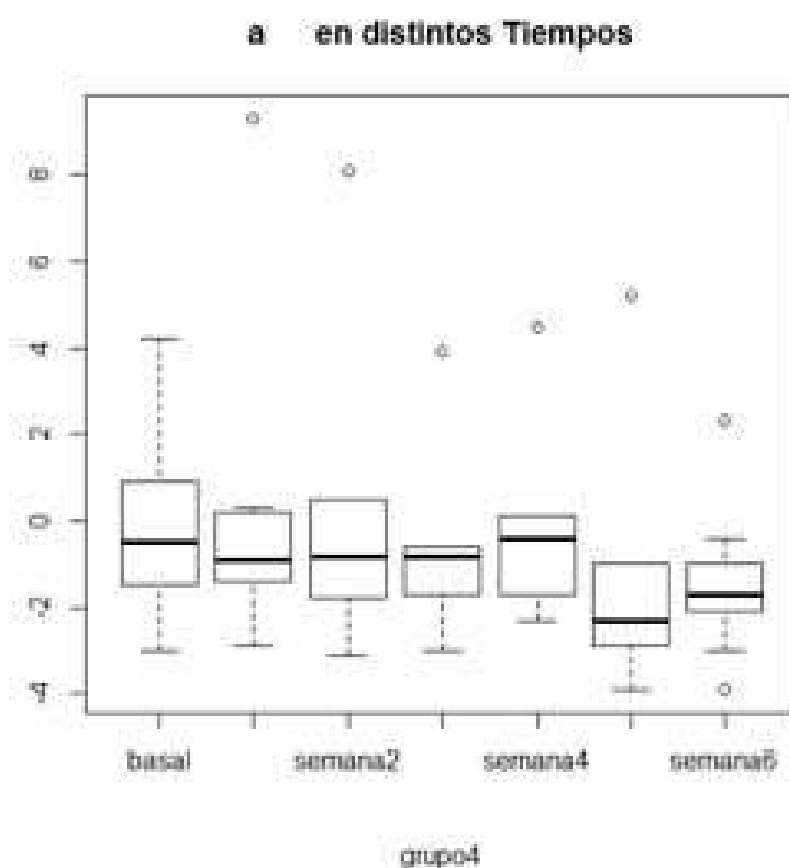


Fig.60. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 4

En el grupo 4, partiendo de un color inicial de $-0,20$ con una desviación típica de $2,016$, observamos que, excepto la primera semana que presenta una media para a^* de $0,01 (\pm 3,39)$, pero sin diferencias estadísticamente significativas entre estas 2 semanas, las medias van haciéndose cada vez más negativas, alcanzando el valor más negativo en la semana 5 (fig. 60).

Hay diferencias significativas de basal a la semana 5 (0,004) y 6 (0.015), de la semana 1 con la semana 5 (0.003) y con la semana 6 (0.003) y entre la semana 4 y la 5 (0.012). No hay diferencias estadísticas entre semana 5 y 6. Por tanto se produciría blanqueamiento hasta la semana 5 (en la 6 el valor se recupera ligeramente).

Grupo 5

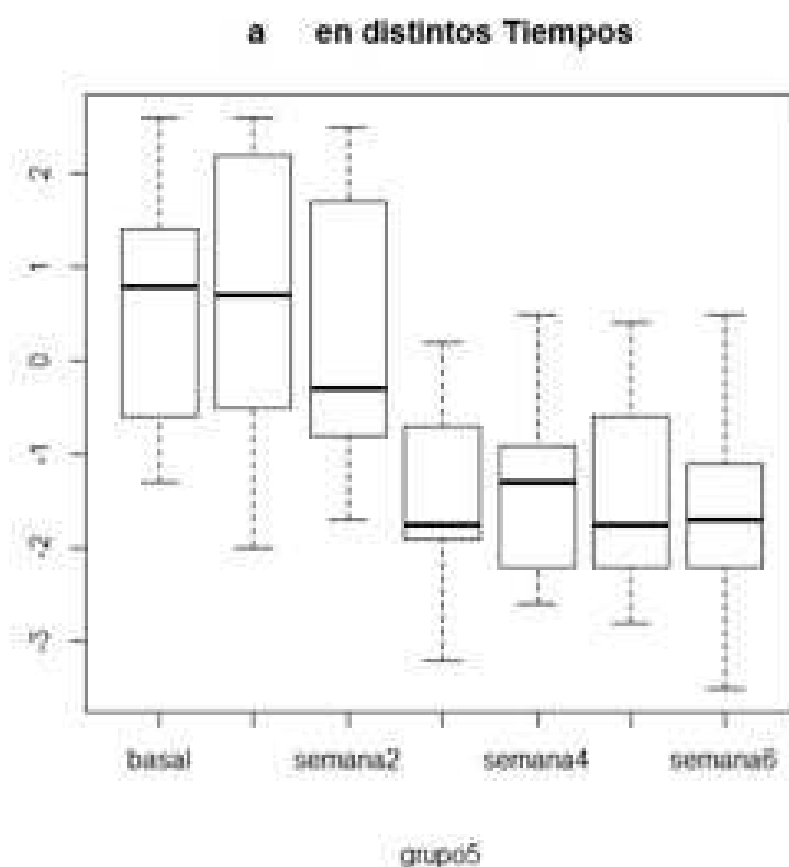


Fig.61. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 5

Como se observa en la figura, el parámetro a^* desde el inicio ($0,69 \pm 1,624$) va aproximándose más a 0 hasta la semana 2 ($0,130 \pm 1,408$) para a partir de la siguiente semana 3 mostrar valores cada vez más negativos .

Existen diferencias significativas de basal con la semana 3, 4, 5 y 6 (<0.001). Además existe significación estadística entre la semana 2 y 3 (<0.001), entre la semana 2 y la 4 (0.001), con la semana 5 (<0.001) y con la semana 6 (<0.001), en la que se obtiene la media más negativa. Por tanto blanquea significativamente a partir la semana 3, continuando hasta la semana 6.

Grupo 6

El comportamiento de esta variable es más irregular, como se muestra en la figura, debido a que las medias desde la primera medición ($-0,20 \pm 1,79$) previa al blanqueamiento se van haciendo más negativas hasta la semana 2 ($-1,77 \pm 1,243$), de forma estadísticamente significativa (0.044), volviendo de nuevo a valores positivos en la semana 3 ($0,08 \pm 2,36$), para que a partir de la siguiente semana, se vuelven de nuevo negativos, alcanzando el valor más negativo en la semana 5 ($-2,620 \pm 0,480$). Existen diferencias significativas de basal a la semana 5 (<0.001) y a la 6 (0.047), y a su vez diferencias significativas entre estas

2 semanas, ya que en la semana 6 incrementa su media. También hay diferencias estadísticas entre la semana 4 y la 5 (0.018).

Encontramos diferencias significativas en la semana 1 con respecto a la semana 2 (0.044) y con la semana 5 (0.001). Es el grupo con el comportamiento más irregular a lo largo del tiempo.

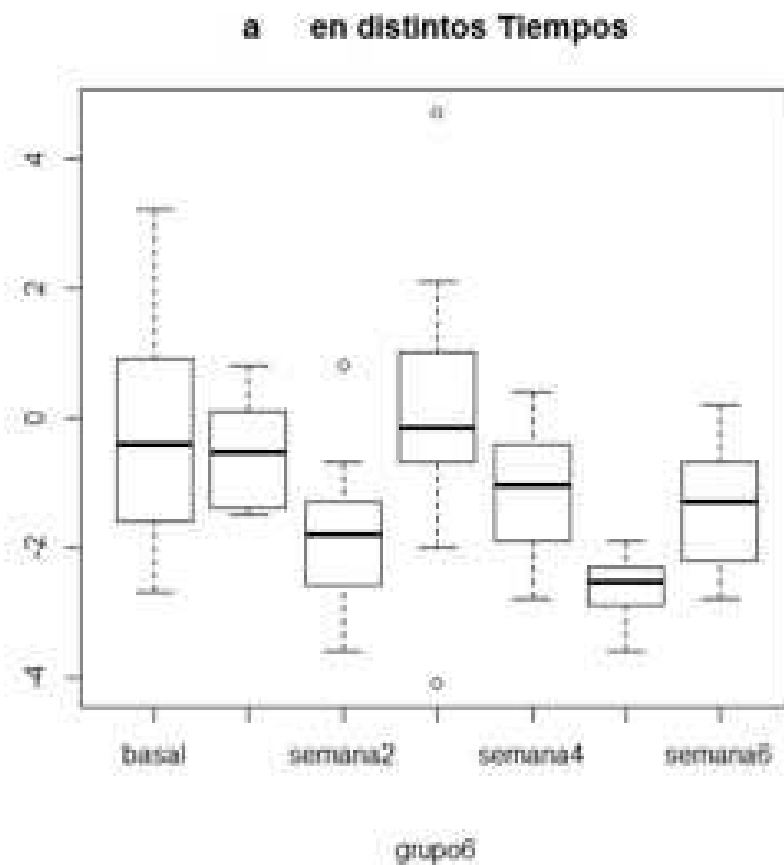


Fig.62. Evolución del parámetro a^* a lo largo de las semanas para el grupo 6

III.3. VARIABLES PARA b*

TIEMPO	Grupo	Muestra	Media	sd	Máximo	Mínimo
0	1	10	26,62	7,23	41,10	13,50
0	2	10	28,52	7,41	41,50	15,40
0	3	10	33,55	5,17	40,20	23,40
0	4	10	24,76	6,37	31,80	13,20
0	5	10	27,82	4,16	32,20	18,70
0	6	10	23,88	5,88	32,60	14,70
1	1	10	24,47	6,09	38,50	13,70
1	2	10	26,67	6,27	38,00	13,60
1	3	10	30,20	5,70	37,40	18,80
1	4	10	22,05	6,94	38,60	13,80
1	5	10	28,30	2,24	30,90	24,50
1	6	10	22,46	5,51	29,70	13,80
2	1	10	21,37	5,83	35,10	11,50
2	2	10	24,03	7,75	38,90	8,00
2	3	10	26,34	15,41	38,70	-14,70
2	4	10	20,40	7,88	40,10	12,20
2	5	10	27,54	4,60	33,50	17,30
2	6	10	22,19	4,82	30,20	14,70
3	1	10	22,43	5,76	33,30	11,10
3	2	10	23,69	6,19	28,70	8,30
3	3	10	27,86	6,22	35,50	14,60
3	4	10	20,31	7,37	39,00	12,20
3	5	10	25,82	3,68	30,70	17,80
3	6	10	27,86	6,22	35,50	14,60
4	1	10	22,87	4,64	31,60	13,40
4	2	10	26,87	7,50	41,30	11,50
4	3	10	27,74	7,20	37,30	15,00
4	4	10	21,46	8,09	40,60	12,40
4	5	10	26,32	2,47	31,60	22,10
4	6	10	20,82	4,99	28,40	12,20
5	1	10	20,52	3,50	25,70	12,40
5	2	10	22,47	9,53	45,00	8,40
5	3	10	22,53	6,18	33,80	10,00
5	4	10	19,05	7,85	38,10	8,80
5	5	10	23,59	2,81	26,70	17,90
5	6	10	19,22	3,50	26,50	13,80
6	1	10	21,46	5,14	29,50	10,90
6	2	10	22,94	8,03	40,80	9,50
6	3	10	27,44	6,92	36,50	15,00
6	4	10	20,30	8,91	38,10	10,70
6	5	10	25,96	1,78	28,40	22,10
6	6	10	19,86	4,09	24,30	12,90

Tabla 5.valores estadísticos obtenidos para b*

Se recogen en la tabla 5 los datos estadísticos obtenidos para el parámetro b^* , que indica dentro del espacio CIELab el eje amarillo-azul, amarillo cuando es positivo y azul cuando es negativo. A medida que el valor de b^* se va aproximando a 0 el color es menos saturado o intenso.

III.3.1. b^* en distintos tiempos

Las medias obtenidas para b^* se muestran en la siguiente tabla

	Basal	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1	26,62 ±7,23	24,47 ±6,09	21,37 ±5,83	22,43 ±5,76	22,87 ±4,64	20,52 ±3,50	21,46 ±5,14
2	28,52 ±7,41	26,67 ±6,27	24,03 ±7,75	23,69 ±6,19	26,87 ±7,50	22,47 ±9,53	22,94 ±8,03
3	33,55 ±5,17	30,20 ±5,70	26,34 ±15,41	27,86 ±6,22	27,74 ±7,20	22,53 ±6,18	27,44 ±6,92
4	24,76 ±6,37	22,05 ±6,94	20,40 ±7,88	20,31 ±7,37	21,46 ±8,09	19,05 ±7,85	20,30 ±8,91
5	27,82 ±4,16	28,30 ±2,24	27,54 ±4,60	25,82 ±3,68	26,32 ±2,47	23,59 ±2,81	25,96 ±1,78
6	23,88 ±5,88	22,46 ±5,51	22,19 ±4,82	27,86 ±6,22	20,82 ±4,99	19,22 ±3,50	19,86 ±4,09

Tabla 6. Valores medios para el parámetro b^* en los distintos grupos a lo largo del tiempo

Grupo 1

En este grupo la media va disminuyendo desde el valor inicial ($26,62 \pm 7,23$) hasta la semana 5, en la que alcanza el valor más bajo ($20,52 \pm 3,50$) (fig.63). Existen diferencias significativas de basal con todas las semanas (tabla 7), al igual que se produce una disminución en la media de forma significativa de la semana 2 con respecto a la semana 1 (0.003), y de la semana 5 (<0.001) y 6 (0.004) con la semana 1. También encontramos diferencias significativas entre semana 4 y 5

(0.024). Por tanto el blanqueamiento se inicia desde la primera semana y continúa blanqueando hasta la semana 5, semana en la que alcanza el valor más próximo a 0.

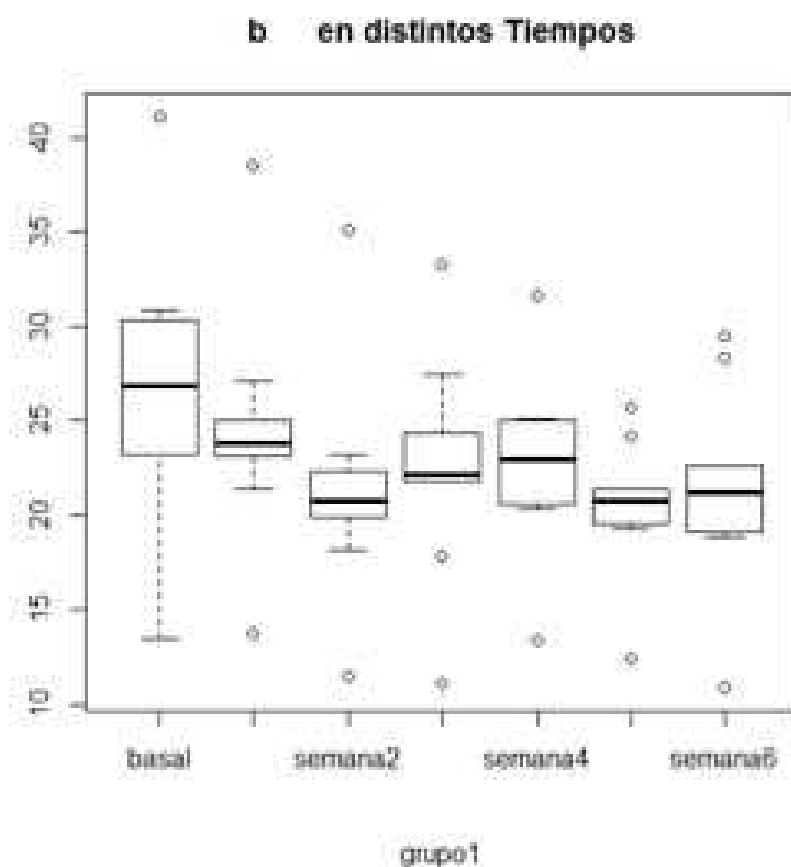


Fig. 63. Evolución del parámetro b^* a lo largo de las semanas para el grupo 1

Variable (tiempo)	p-valor
Basal- Semana 1	0.038
Basal- Semana 2	< .001
Basal- Semana 3	< .001
Basal- Semana 4	< .001
Basal- Semana 5	< .001
Basal- Semana 6	< .001

Tabla 7. Análisis estadístico de la variable b^* para el grupo 1

Grupo 2

En este grupo los valores medios van disminuyendo desde el inicio ($28,52 \pm 7,41$) hasta alcanzar el valor más próximo a 0 en la semana 5 ($22,47 \pm 9,53$) (fig.64), pero sólo desde la semana 2 existen diferencias significativas con respecto a basal ($<.001$) así que el blanqueamiento comienza de forma significativa a partir de esa semana. Existen diferencias significativas de basal con la semana 3 ($<.001$), semana 5 ($<.001$) y con la semana 6 (0.043). Desde la semana 1 se observa una disminución significativa en la semana 2 (0.040) y 3 (0.021).

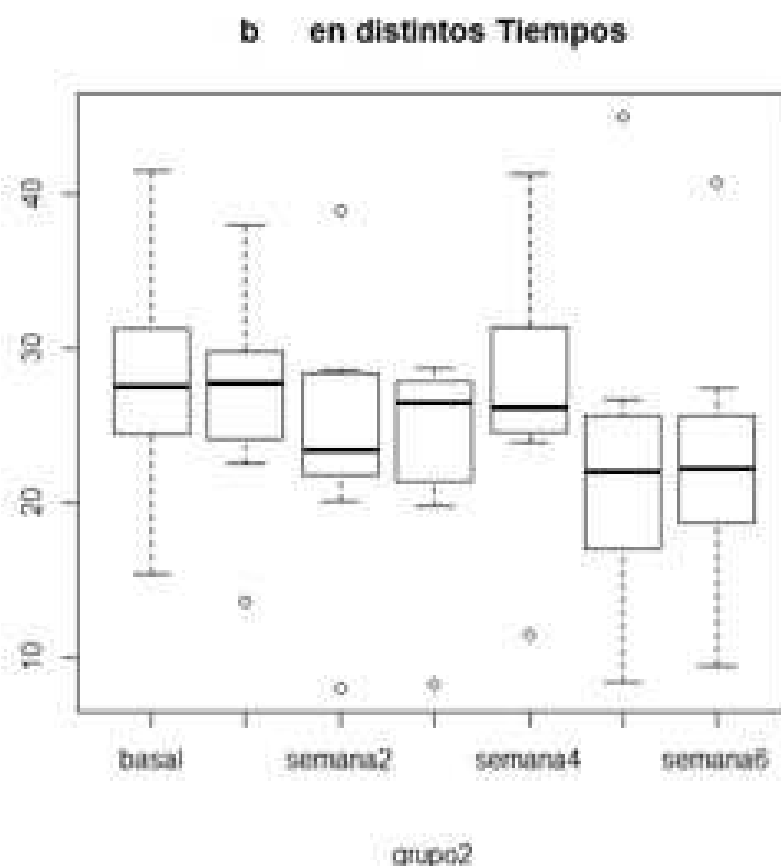


Fig.64.Evolución del parámetro b* a lo largo de las semanas para el grupo 2

Grupo 3

Al igual que en el grupo anterior el parámetro b^* va disminuyendo desde basal ($33,55 \pm 5,17$) hasta hacerlo de forma significativa (0.018) en la semana 2 ($33,55 \pm 5,17$) y en la semana 5 alcanza el menor valor ($22,53 \pm 6,18$) con respecto a la situación inicial ($p < .001$) (fig.65). Existe diferencia significativa de basal a la semana 6 (0.043), aunque el valor es ligeramente superior en relación a la semana anterior, aunque no de forma significativa. Por tanto inicia el blanqueamiento en la semana 2, para continuar disminuyendo hasta la semana 5, donde alcanza el valor más bajo.

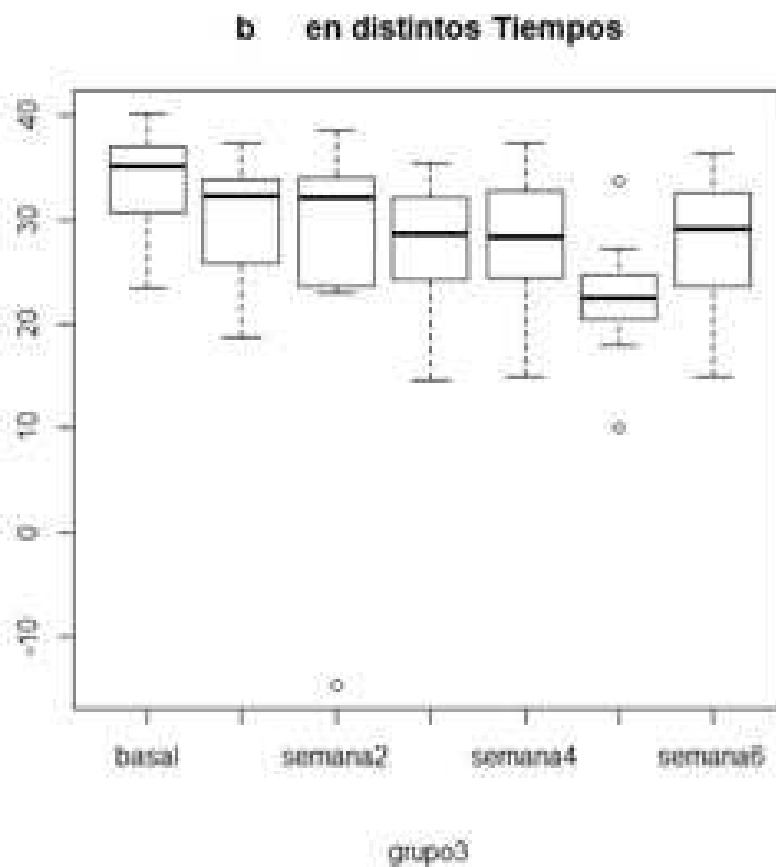


Fig.65.Evolución del parámetro b^* a lo largo de las semanas para el grupo 3

Grupo 4

El grupo 4 muestra una disminución en la media desde basal ($24,76 \pm 6,37$) a lo largo de las semanas, alcanzando el valor más próximo a 0 en la semana 5 ($19,05 \pm 7,85$) (fig.66). Es significativo a partir de la semana 2 (0.011), y a partir de ésta, también en la semana 3 (0.010), semana 5 (0.001) y semana 6 (0.009). En el resto de las semanas el estudio estadístico no muestra diferencias significativas entre las diferentes periodos de tiempo en los que se realizan las mediciones.

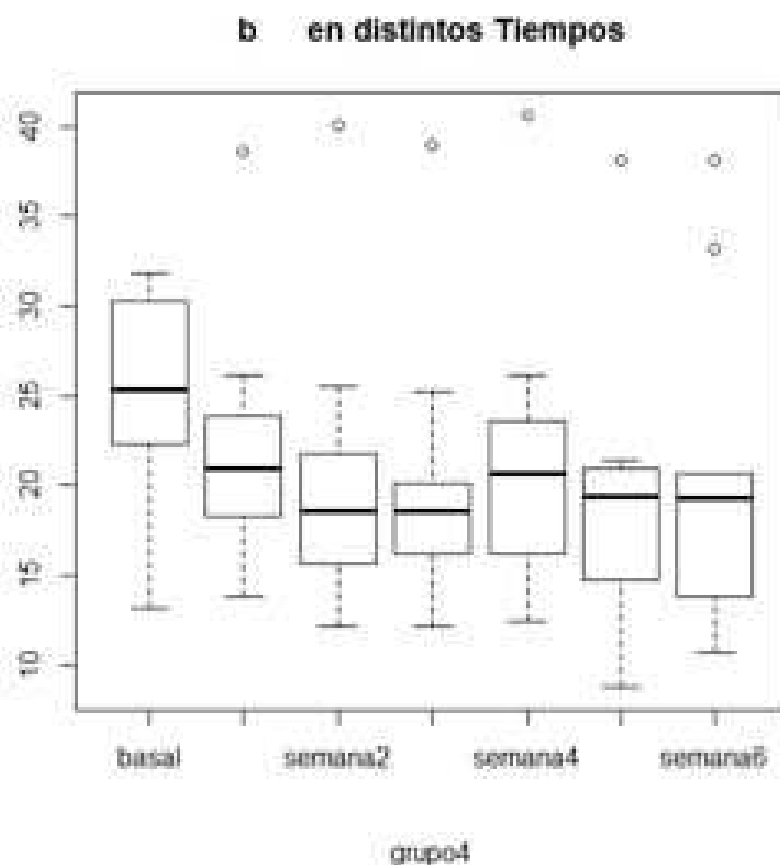


Fig.66.Evolución del parámetro b* a lo largo de las semanas para el grupo 4

Grupo 5

La media para b^* disminuye de forma significativa en la semana 3 (0.045), alcanzando el valor más próximo a 0 en la semana 5 ($23,59 \pm 2,81$) con respecto a basal ($27,82 \pm 4,16$) significativo estadísticamente ($<.001$). La semana 5 muestra disminución significativa con la semana 4 (0.007). En la semana 6 se produce un aumento significativo con respecto a la semana anterior (0.018). (fig.67) Blanquea significativamente de la semana 3 a la 5.

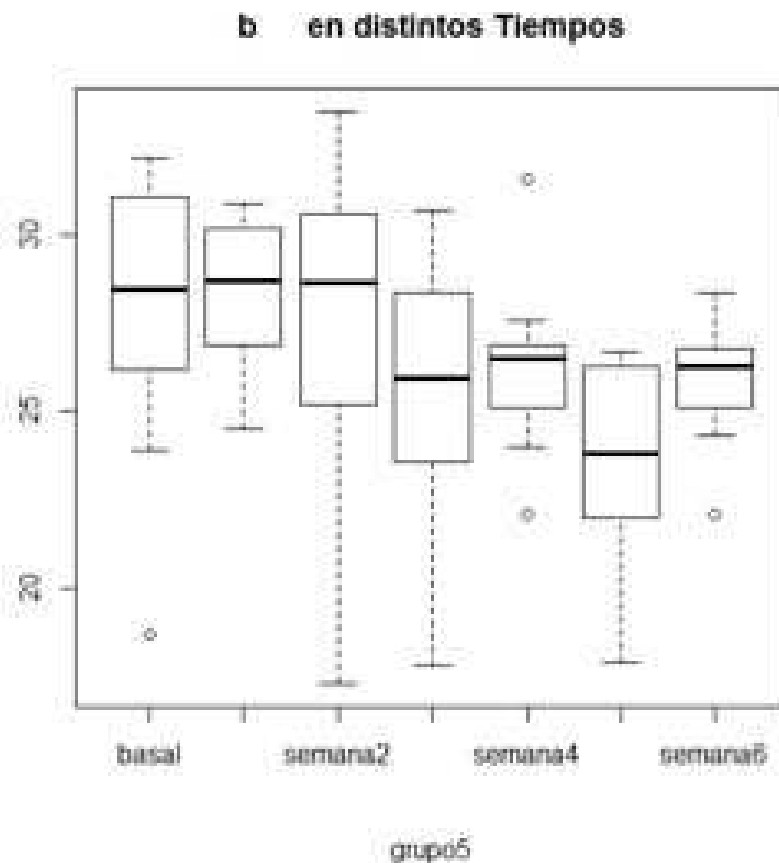


Fig.67.Evolución del parámetro b^* a lo largo de las semanas para el grupo 5.

Grupo 6

El grupo 6 no muestra una disminución en la saturación para b^* hasta la semana 3 (0.033), alcanzando la media más baja ($19,22 \pm 3,50$) en la semana 5 (0.013, con respecto a basal) y en la semana 6 (0.031). el blanqueamiento se produce de forma semejante al grupo anterior, de la semana 3 a la 5.

!

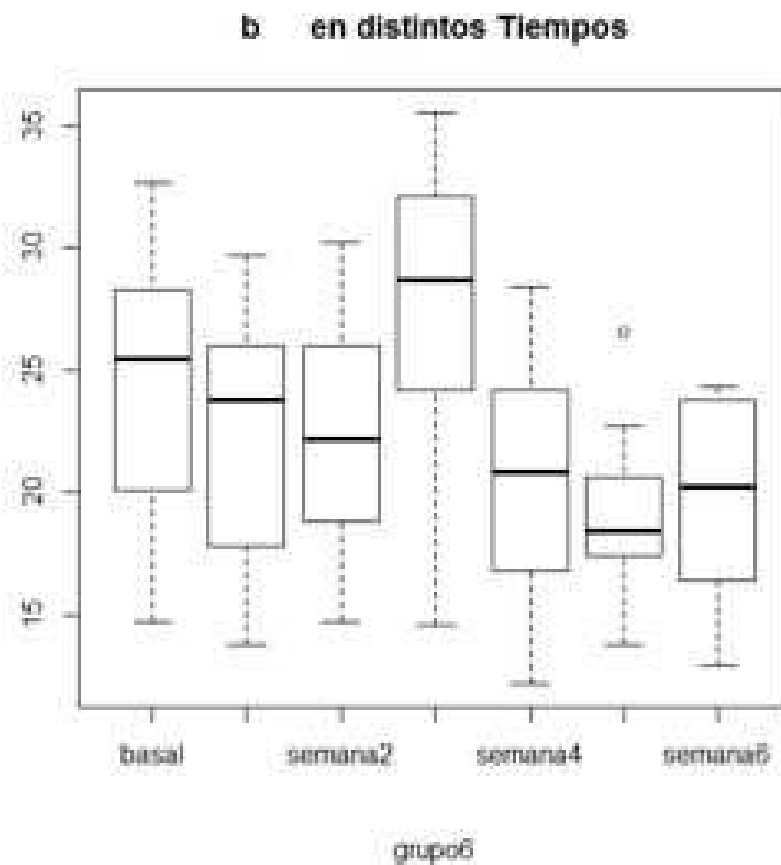


Fig.68.Evolución del parámetro b^* a lo largo de las semanas para el grupo 6.

III.4. VARIABLES PARA L*

TIEMPO	Grupo	Muestra	Media	sd	Máximo	Mínimo
0	1	10	71,01	8,39	78,80	48,70
0	2	10	64,52	8,68	72,80	45,60
0	3	10	74,02	5,47	81,30	65,20
0	4	10	73,03	6,70	83,90	59,80
0	5	10	72,70	3,94	78,40	65,20
0	6	10	75,53	4,72	80,90	67,70
1	1	10	72,51	7,15	79,80	54,60
1	2	10	65,97	10,93	79,40	39,60
1	3	10	75,88	5,53	84,30	65,00
1	4	10	71,31	7,74	78,80	55,30
1	5	10	77,49	6,12	91,00	71,70
1	6	10	79,32	3,30	82,80	74,00
2	1	10	73,09	5,45	78,80	59,40
2	2	10	68,29	9,65	77,60	44,60
2	3	10	78,58	6,42	88,40	66,40
2	4	10	72,95	8,71	86,90	58,40
2	5	10	79,29	4,79	85,90	72,30
2	6	10	80,45	4,37	90,20	75,00
3	1	10	77,56	8,44	85,00	55,70
3	2	10	73,36	10,46	84,70	51,30
3	3	10	78,90	5,57	85,00	67,00
3	4	10	80,58	5,87	91,00	73,50
3	5	10	78,66	5,90	87,30	68,50
3	6	10	78,90	5,57	85,00	67,00
4	1	10	80,29	6,23	90,30	72,10
4	2	10	79,31	7,46	86,80	65,30
4	3	10	80,98	6,99	91,30	66,40
4	4	10	83,84	5,99	91,60	74,00
4	5	10	78,69	5,78	88,40	69,10
4	6	10	83,78	5,45	93,30	74,90
5	1	10	85,67	3,44	90,50	78,20
5	2	10	78,28	8,67	88,60	60,40
5	3	10	81,43	5,31	90,60	73,60
5	4	10	83,47	5,86	91,00	70,90
5	5	10	77,51	6,28	87,10	66,80
5	6	10	80,62	4,32	87,20	75,90
6	1	10	79,98	6,58	87,40	66,40
6	2	10	79,53	6,12	85,00	64,80
6	3	10	80,97	6,94	91,30	66,40
6	4	10	82,84	5,39	91,40	73,40
6	5	10	81,30	5,58	91,50	72,10
6	6	10	87,23	6,55	97,70	75,30

Tabla 8. Valores estadísticos obtenidos para L*

Se recogen los datos estadísticos para la variable L^* en todos los grupos, eje que muestra la luminosidad, siendo 0 el negro y 100 el blanco. Se muestran igual que en las anteriores tablas la media, desviación típica y el rango máximo y mínimo.

III.4.1. L^* en distintos tiempos

En la siguiente tabla observamos las medias estadísticas y las desviaciones estándar para cada uno de los grupos siguiendo la evolución en el tiempo.

	Basal	S1	S2	S3	S4	S5	S6
I	71,01 ±8,39	72,51 ±7,15	73,09 ±5,45	77,56 ±8,44	80,29 ±6,23	85,67 ±3,44	79,98 ±6,58
II	64,52 ±8,68	65,97 ±10,93	68,29 ±9,65	73,36 ±10,46	79,31 ±7,46	78,28 ±8,67	79,53 ±6,12
III	74,02 ±5,47	75,88 ±5,53	78,58 ±6,42	78,90 ±5,57	80,98 ±6,99	81,43 ±5,31	80,97 ±6,94
IV	73,03 ±6,70	71,31 ±7,74	72,95 ±8,71	80,58 ±5,87	83,84 ±5,99	83,47 ±5,86	82,84 ±5,39
V	72,70 ±3,94	77,49 ±6,12	79,29 ±4,79	78,66 ±5,90	78,69 ±5,78	77,51 ±6,28	81,30 ±5,58
VI	75,53 ±4,72	79,32 ±3,30	80,45 ±4,37	78,90 ±5,57	83,78 ±5,45	80,62 ±4,32	87,23 ±6,55

Tabla 9. Valores medios para el parámetro L^* en los distintos grupos a lo largo del tiempo.

En esta tabla podemos observar que en todos los grupos se produce un cambio en el color una vez finalizado el tratamiento y al final de las mediciones, observándose un incremento en las medias lo que indica aclaramiento del color ya que aumenta la luminosidad.

Grupo 1

Las medias indican que desde basal ($71,01 \pm 8,39$) hasta la semana 5 se produce un incremento progresivo ($85,67 \pm 3,44$) (fig.69) de forma estadísticamente significativa tal y como se muestra en la tabla 10. La semana 3 incrementa significativamente la media en relación con la semana anterior (0.016), al igual que en la semana 5 con la semana 4 (0.004). En la semana 6, se produce una disminución en la luminosidad ($79,98 \pm 6,58$) de forma significativa con respecto a la semana anterior (0.003), pero su valor medio es mayor que la media inicial ($<.001$). El blanqueamiento se inicia por tanto desde la semana 1, continuando hasta la semana 5.

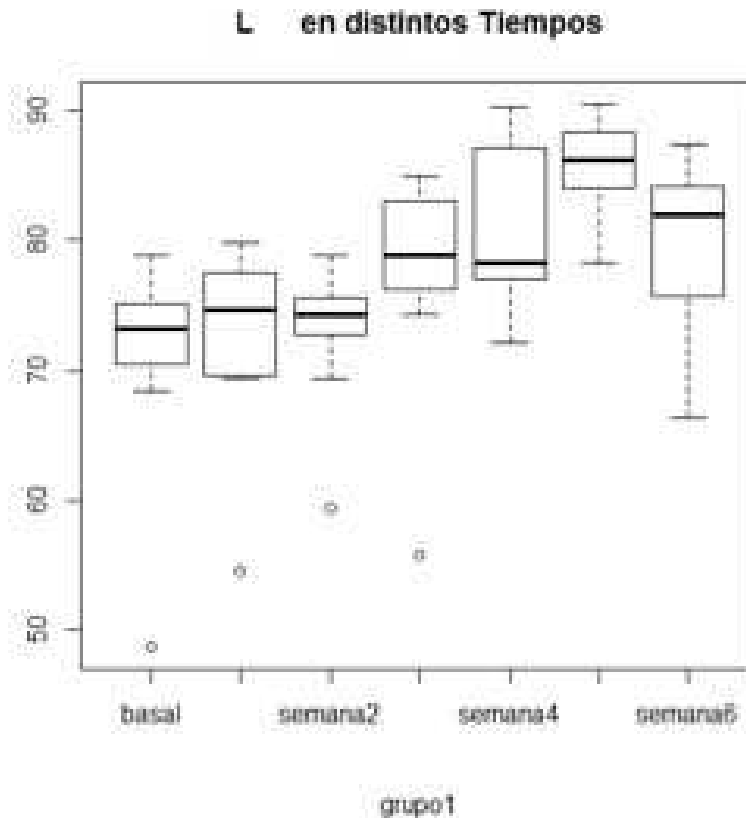


Fig.69. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 1

Variable (tiempo)p-valor
Basal- Semana 1	0.409
Basal- Semana 2	0.254
Basal- Semana 3	< .001
Basal- Semana 4	< .001
Basal- Semana 5	< .001
Basal- Semana 6	< .001

Tabla 10. Análisis estadístico de la variable L* para el grupo 1

Grupo 2

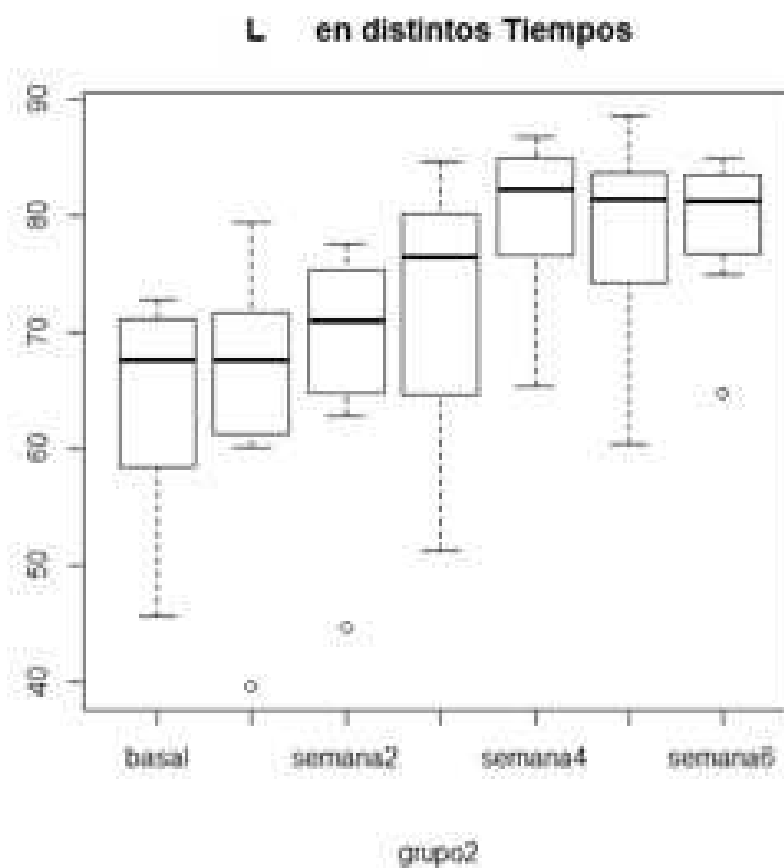


Fig.70. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 2

En este grupo se produce un incremento de la luminosidad desde el inicio ($64,52 \pm 8,68$) de forma significativa a partir de la semana 2 ($68,29 \pm 9,65$) como se observa en el diagrama de cajas, e incrementa significativamente en todas las semanas con la basal ($<.001$). A partir de la semana 3, todas las semanas aumentan su media significativamente en comparación con la semana 1 ($<.001$). En la semana 4 alcanza el valor más alto ($79,31 \pm 7,46$).

Grupo 3

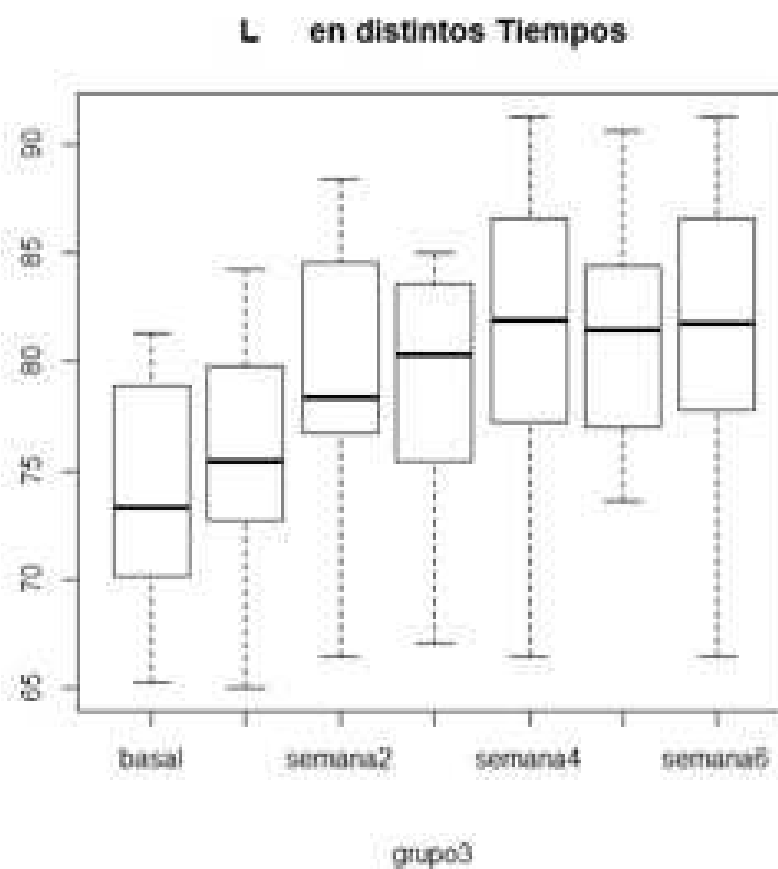


Fig.71. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 3

Desde la media inicial ($74,02 \pm 5,47$) se produce aumento en la luminosidad de forma significativa a partir de la semana 2 ($78,58 \pm 6,42$; $p < 0.001$) hasta la semana 5 ($81,43 \pm 5,31$; $p < 0.001$). En la semana 6 se obtiene una media inferior pero significativamente superior con la media inicial ($p < 0.001$). La semana 1 presenta diferencias estadísticamente significativas con la siguiente semana (0.044), al igual que en la semana 3 (0.025), semana 4,5 y 6 (< 0.001). Desde la semana 2 encontramos que la media incrementa significativamente en la semana 5 (0.034), en donde la media es mayor ($81,43 \pm 5,31$) (Fig.71).

Grupo 4

En este grupo se observa un aumento de L^* desde la media inicial ($73,03 \pm 6,70$) de forma significativa (< 0.001) a partir de la semana 3 ($80,58 \pm 5,87$), además de la semana 4 y 5 ($p < 0.001$), disminuyendo progresivamente sin significación estadística en las 2 últimas semanas, pero su media sigue siendo superior de forma significativa con la medida inicial ($p < 0.001$). En la semana 3 y 4 aumentan sus medias significativamente con respecto a la semana anterior ($p < 0.001$ y $p = 0.032$, respectivamente). En la semana 4, como se observa en la figura 72, se obtiene el valor más elevado ($83,84 \pm 5,99$). Blanquean desde la semana 3 para alcanzar el valor más alto en la semana 4.

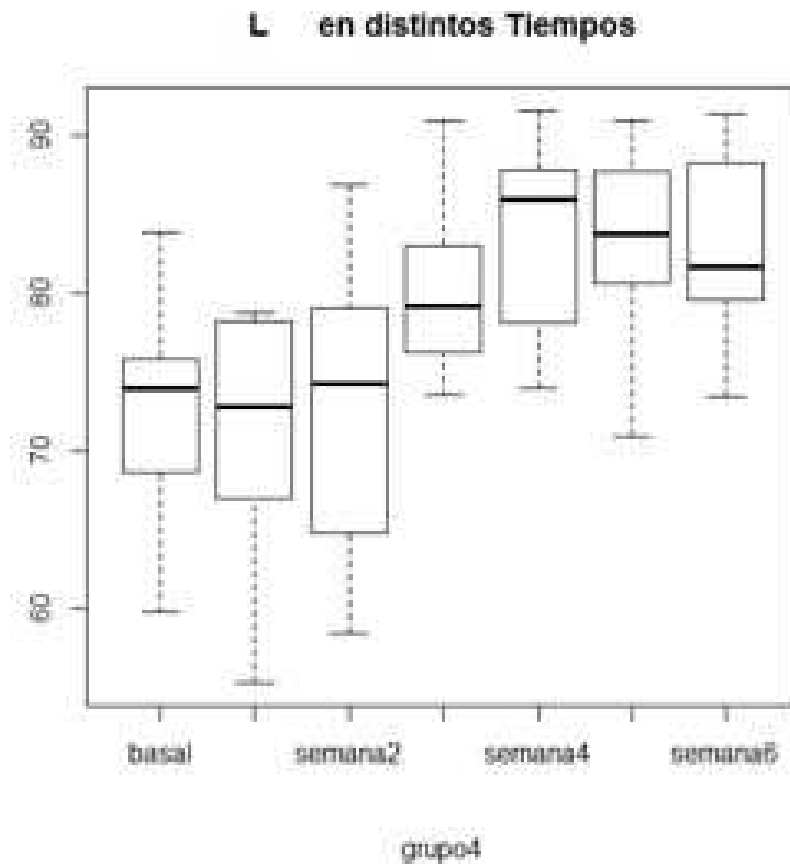


Fig.72. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 4

Grupo 5

Con respecto a la primera media ($72,70 \pm 3,94$) se produce un aumento de la luminosidad de forma significativa desde el inicio a lo largo de todas las semanas ($p < 0.001$), alcanzando la media más alta la última semana ($81,30 \pm 5,58$) (fig. 73). Entre las diferentes semanas sólo existe significación estadística (0.006) en el incremento de la media que se da desde la semana 5 ($77,51 \pm 6,28$) a la semana 6 ($81,30 \pm 5,58$). El blanqueamiento tiene lugar de la semana 1 hasta la 6.

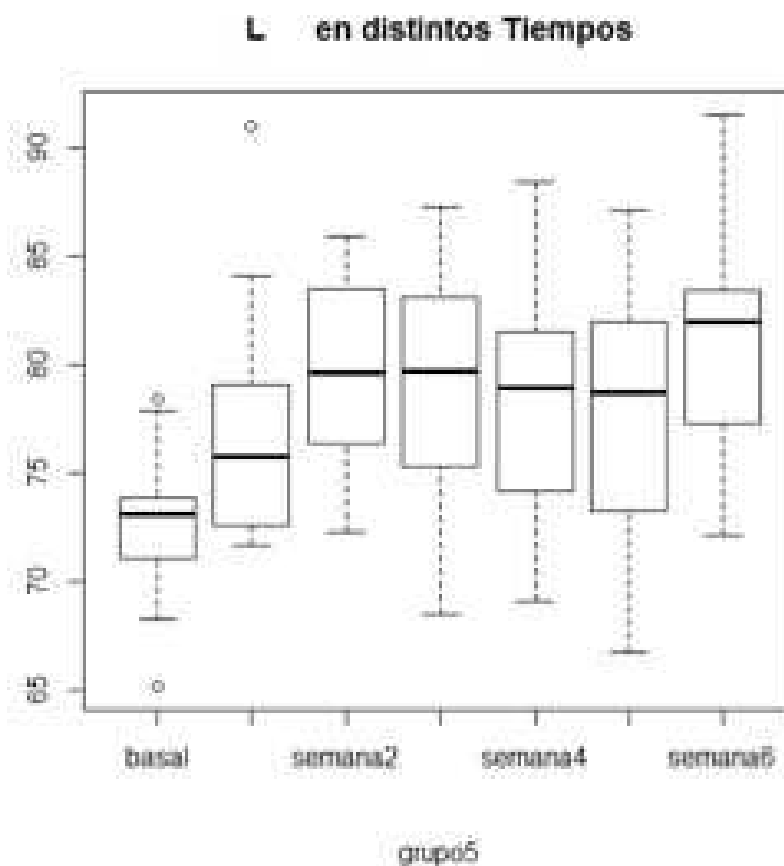


Fig.73. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 5

Grupo 6

Se produce blanqueamiento significativo desde la semana 1 ($79,32 \pm 3,30$; $p=0.029$). La última media obtenida ($87,23 \pm 6,55$) es superior de forma significativa ($< .001$) a la media inicial ($75,33 \pm 4,72$). Entre la semana 4 y la 3 se produce un incremento significativo en la luminosidad (0.066), al igual que de la semana 5 a la semana 6 (<0.001), semana en la que se consigue el valor más alto en la luminosidad (fig.74). Las muestras blanquean desde la semana 1 hasta la 6.

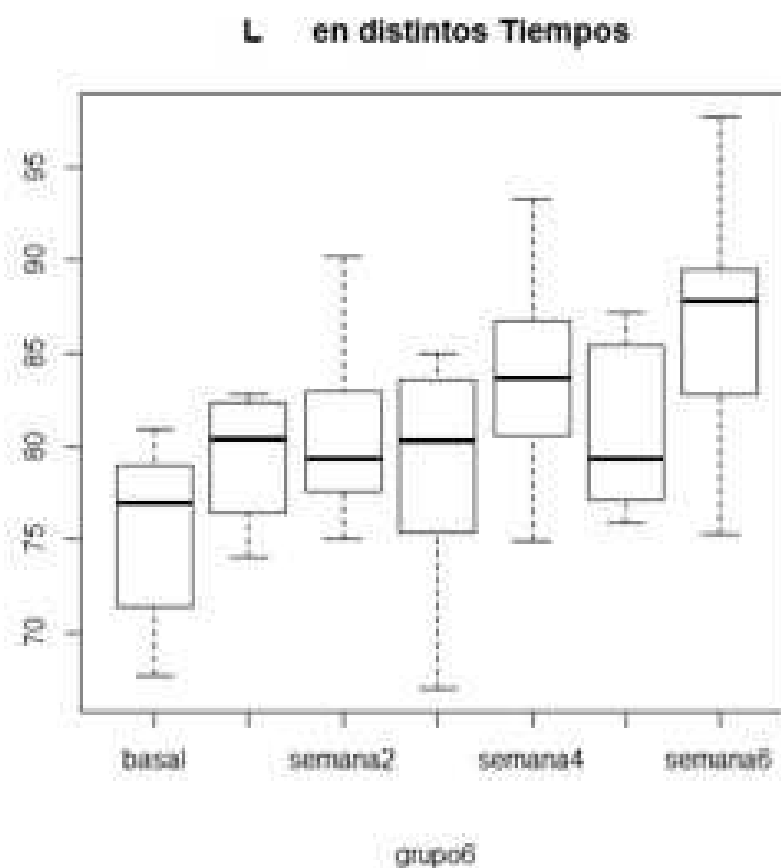


Fig.74. Evolución para L* a lo largo de las semanas para el grupo 4

III.5. a* EN DISTINTOS GRUPOS

Basal

El color más saturado para el parámetro a* es el del grupo 2 ($3,75 \pm 4,029$), presentando una media significativamente superior (0.003) que la del grupo 1 ($0,30 \pm 3,024$); con el grupo 4 ($-0,20 \pm 2,016$; $p < 0.001$); con el grupo 5 ($0,69 \pm 1,342$; $p = 0.009$) y con el grupo 6 ($-0,20 \pm 1,79$; $p < 0.001$) (fig.75). A partir de la semana 1 no existen

diferencias significativas cuando comparamos los diferentes grupos en cada una de las semanas de tratamiento.

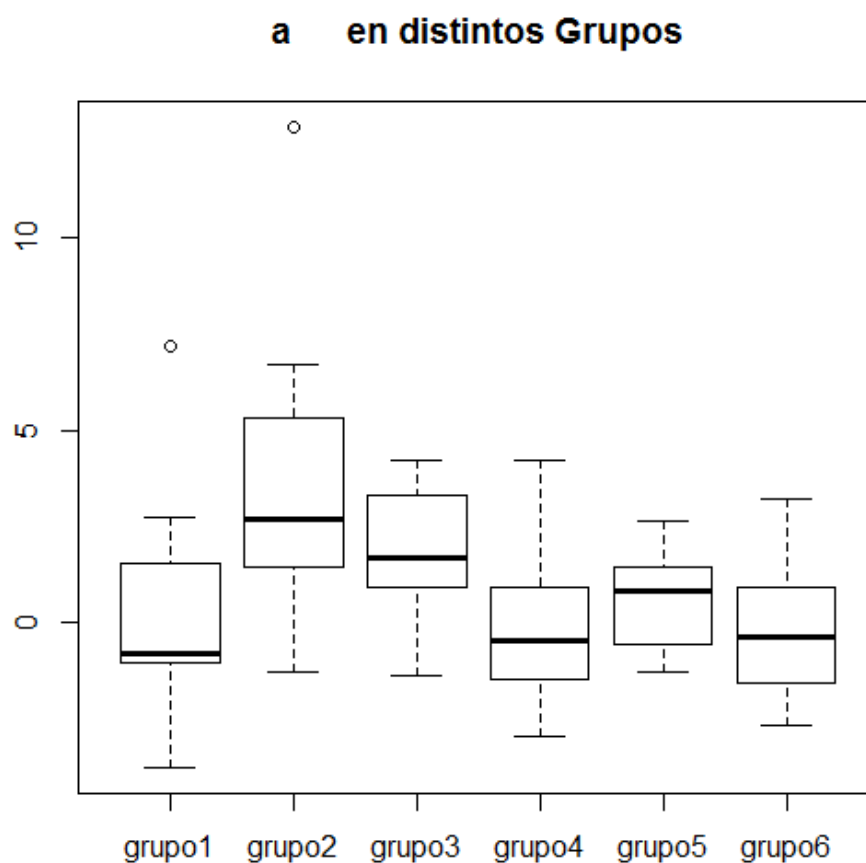


Fig.75. Evolución en basal para a* en lo distintos grupos

Semana 1

En el grupo 2 ($1,90 \pm 4,301$), se produce blanqueamiento significativo ($<.001$) con respecto a la semana anterior ($3,75 \pm 4,029$). El menor valor es para el grupo 6 (fig. 76)

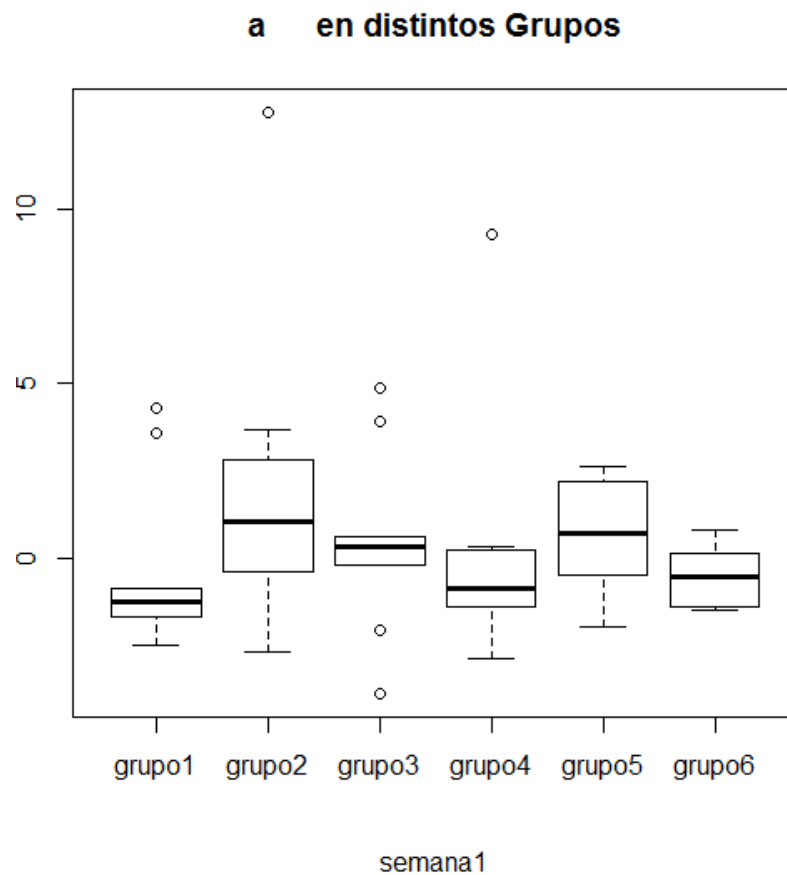


Fig.76. Evolución en la semana 1 para a* en lo distintos grupos

Semana 2

El grupo 1 ($-1,68 \pm 1,889$) y el grupo 6 ($-1,77 \pm 1,243$) muestran una disminución significativa en las medias (0.012 y 0.044, respectivamente) en lo que respecta a las medias obtenidas en las anteriores mediciones (grupo 1: $-0,40 \pm 2,356$; grupo 6: $-0,54 \pm 0,88$) (fig. 77). El menor valor se obtiene para el grupo 6.

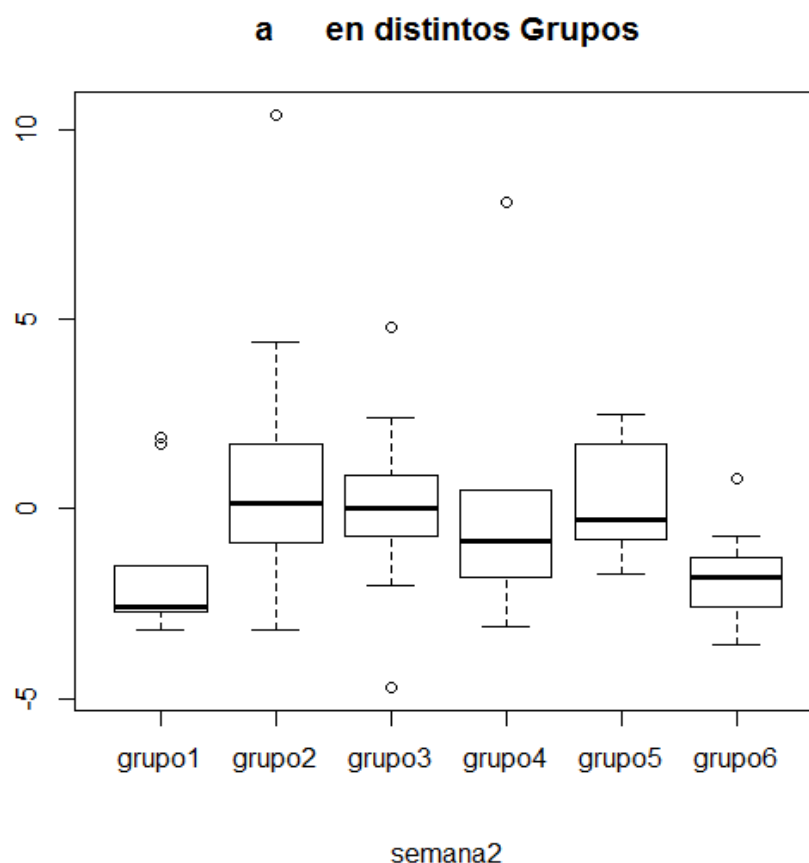


Fig.77. Evolución en la semana 2 para a* en lo distintos grupos

Semana 3

En esta semana el grupo 5 ($-1,60 \pm 1,06$) disminuye significativamente (<0.001) desde la semana 2 ($0,13 \pm 1,408$) (fig. 78). La media más baja se obtiene para el grupo 5.

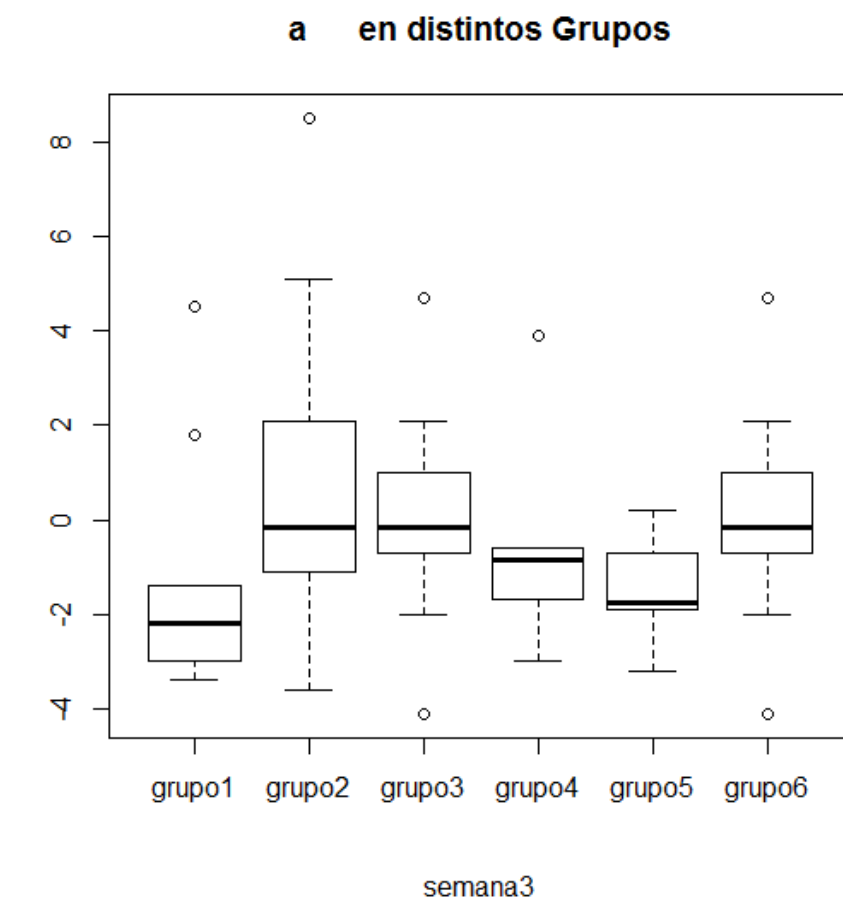


Fig.78. Evolución en la semana 3 para a* en lo distintos grupos

Semana 4

En los resultados obtenidos en la semana 4, podemos ver como el grupo 6 ($-1,170 \pm 0,984$), con respecto a la semana anterior, disminuye su media de forma significativa (0.041) (fig.79). El menor valor es el conseguido en el grupo 6.

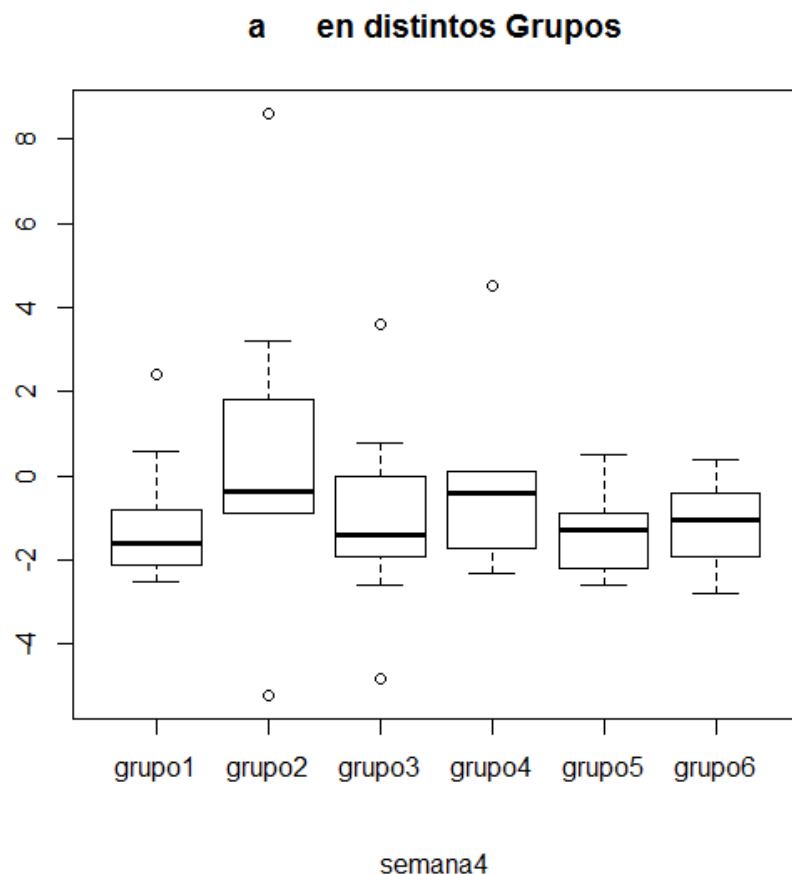


Fig.79. Evolución en la semana 4 para a* en lo distintos grupos

Semana 5

El grupo 2 ($-0,89 \pm 3,96$) disminuye significativamente (0.002) con respecto a la media de la semana anterior ($0,55 \pm 3,553$), al igual que ocurre en el grupo 4 (S4: $-0,39 \pm 1,951$; S5: $-1,68 \pm 2,603$; p 0.012) y en el grupo 6 (S4: $-1,170 \pm 0,984$; S5: $-2,62 \pm 0,48$; p 0.018). El grupo 6 es que tiene el menor valor.

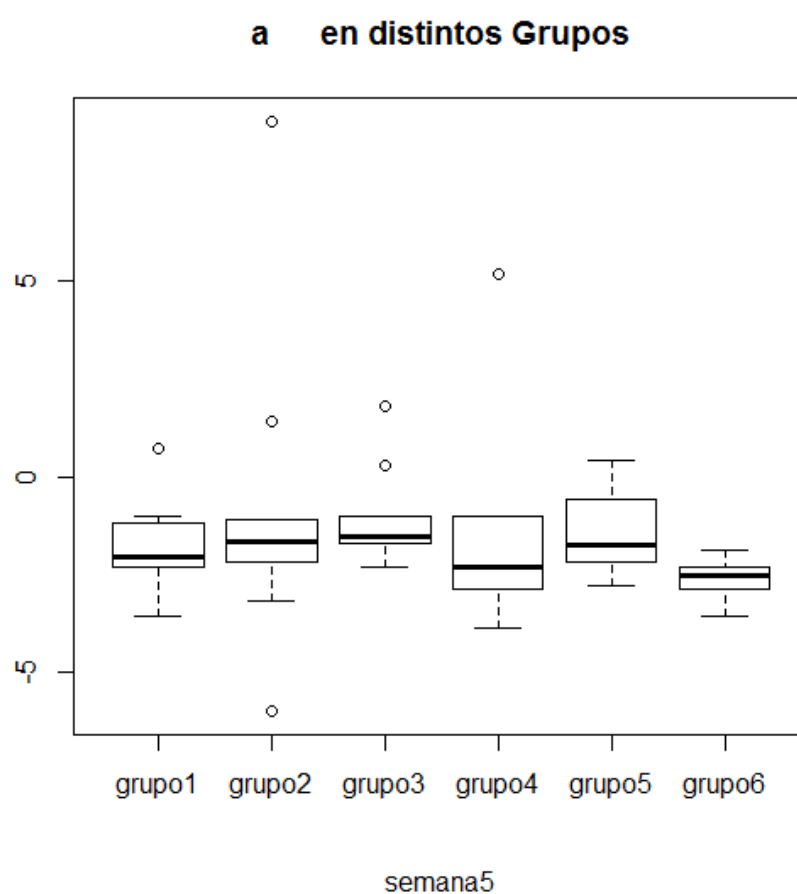


Fig.80. Evolución la semana 5 para a^* en lo distintos grupos

Semana 6

En la última semana sólo se encuentran diferencias estadísticamente significativas (0.047) en el grupo 6 ($-1,410 \pm 1,024$), que presenta un aumento en la media con respecto a la semana 5 ($-2,62 \pm 0,48$). El menor valor lo consigue el grupo I. En el grupo 6 se produce un aumento en la media en relación a la semana anterior.

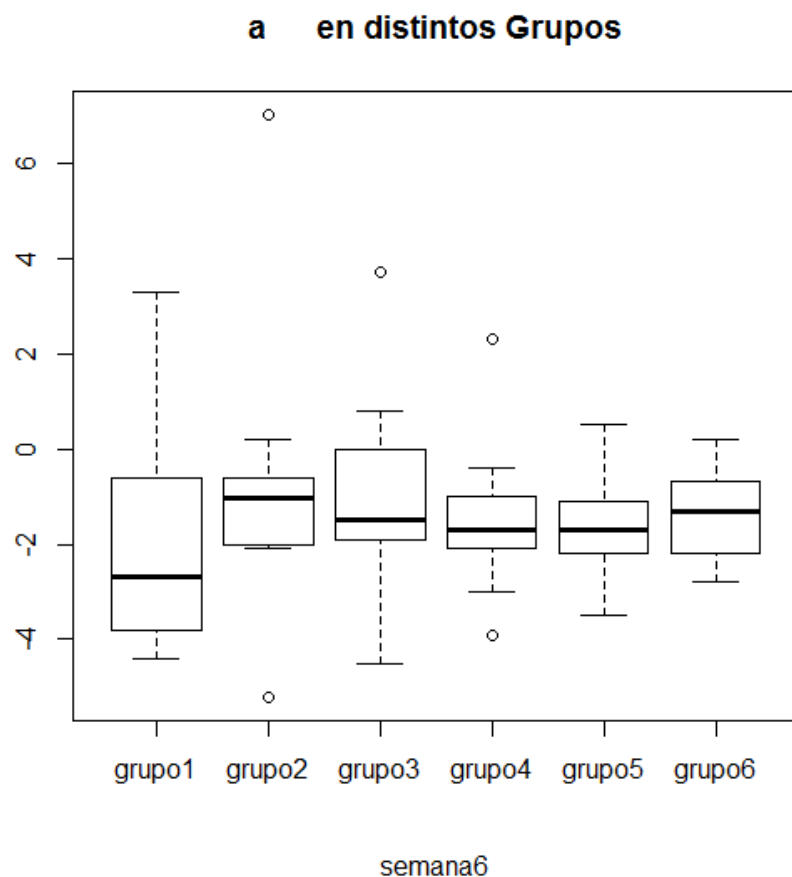


Fig.81. Evolución en la semana 6 para a* en lo distintos grupos

Hasta la semana 4, semana en la que se termina el blanqueamiento, el valor inferior es para el grupo 6, que aumenta significativamente en la última semana. No hay diferencias significativas en los grupos a lo largo de las semanas.

III.6. b^* EN DISTINTOS GRUPOS

Basal

El grupo que presenta la media más elevada es el grupo 3 ($33,55 \pm 5,17$), siendo significativamente superior al grupo 1 ($26,62 \pm 7,23$; p 0.015), al grupo 4 ($24,76 \pm 6,37$; p 0.002), al grupo 5 ($27,82 \pm 4,16$; p 0.042) y al grupo 6 ($23,88 \pm 5,88$; p <.001), presentando este grupo el color menos saturado (fig. 82).

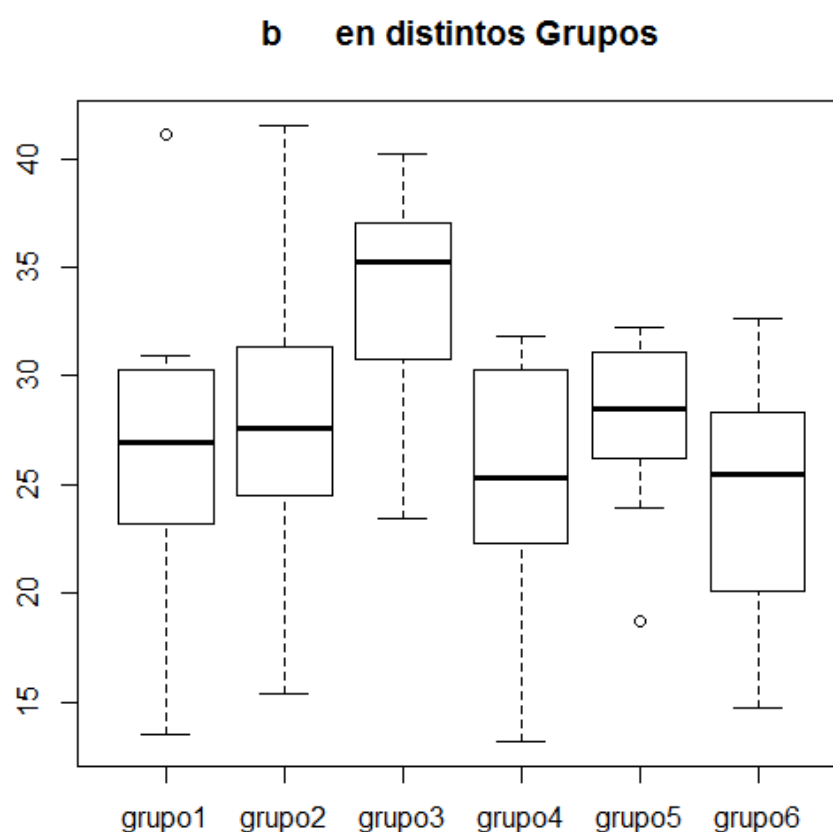


Fig.82. Evolución en basal para b^* en lo distintos grupos

Semana 1

Se observa que la media para el grupo 1 ($24,47 \pm 6,09$) es significativamente inferior (0.028) a la media del grupo 3 ($30,20 \pm 5,70$). El grupo 4 presenta la menor saturación del color ($22,05 \pm 6,94$) de forma significativa con el grupo 3 (0.002), al igual que con el grupo 5 ($28,30 \pm 2,24$ p 0.017). El grupo 6 ($22,46 \pm 5,51$) también presenta una media significativamente inferior (0.025) al grupo 5 (fig.83). El único grupo en el que vemos una disminución significativa (0.038) desde la medición inicial ($26,62 \pm 7,23$) es en el grupo 1 ($24,47 \pm 6,09$).

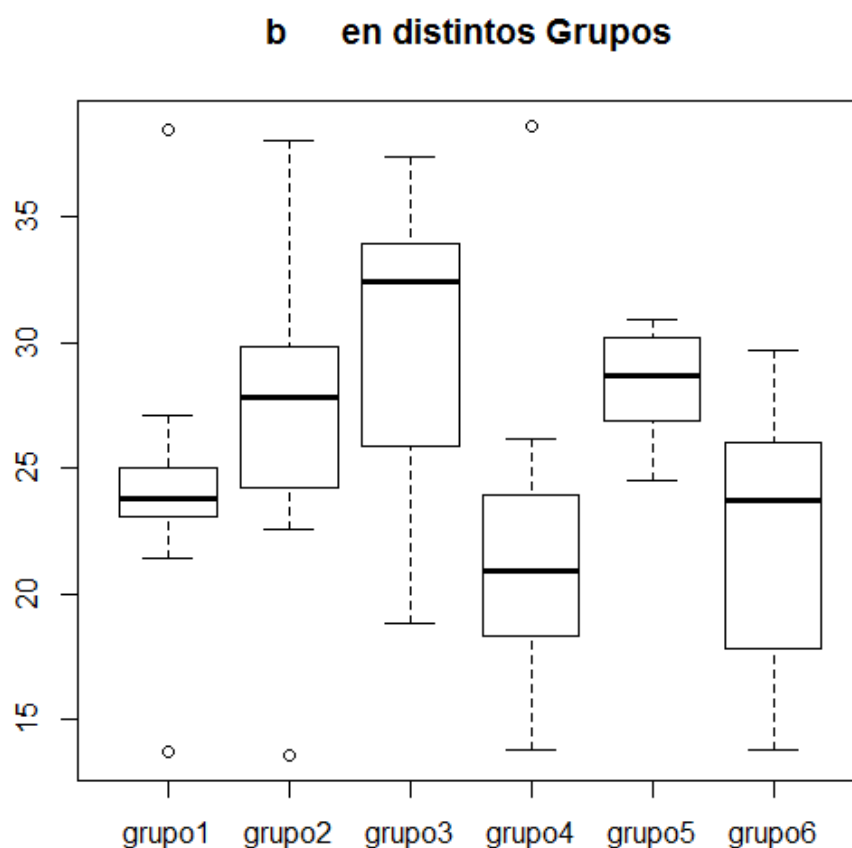


Fig.83. Evolución en semana 1 para b* en lo distintos grupos

Semana 2

Encontramos blanqueamiento significativo (0.003) en la semana 2 ($21,37 \pm 5,83$) con respecto a la semana 1 ($24,47 \pm 6,09$) dentro del grupo 1. Asimismo encontramos en el grupo 2, disminución estadística (0.040) de la semana 2 ($24,03 \pm 7,75$) en relación a la semana 1 ($26,67 \pm 6,27$).

La media más baja es la que encontramos en el grupo 4, $20,40 \pm 7,88$ (fig. 84) sin que existan diferencias significativas.

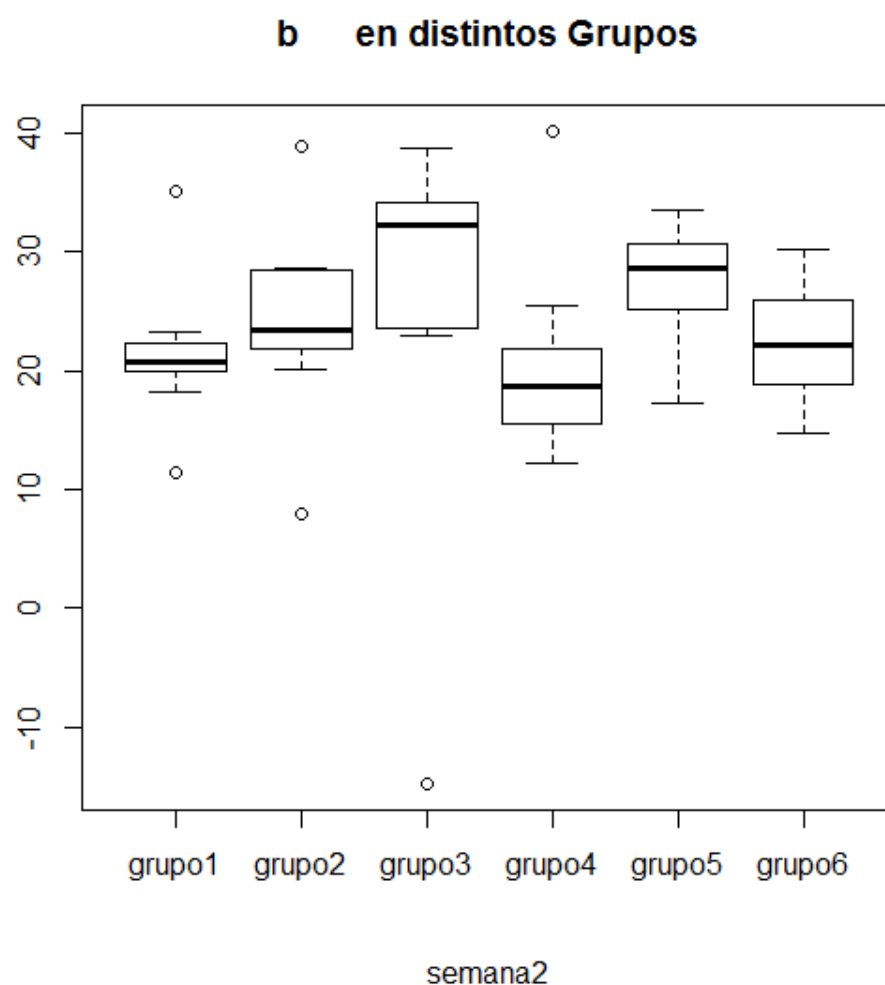


Fig.84. Evolución en semana 2 para b* en lo distintos grupos

Semana 3

La media en el grupo 3 ($27,86 \pm 6,22$) es significativamente superior (0.048) a la media del grupo 1 ($22,43 \pm 5,76$) (fig. 85). El grupo 6 con una media de $27,86 \pm 6,22$ es significativamente superior (0.048) a la media del grupo 1. El grupo 4 presenta el valor medio menos saturado ($20,31 \pm 7,37$), significativo con respecto al grupo 3 (0.007), al grupo 5 ($25,82 \pm 3,68$; p 0.045) y al grupo 6 ($27,86 \pm 6,22$; p 0.007). Las medias de los grupos 2 ($23,69 \pm 6,19$), 4 ($20,31 \pm 7,37$) y 5 ($25,82 \pm 3,68$) disminuyen en relación a la semana anterior, pero en ningún caso es una disminución significativa.

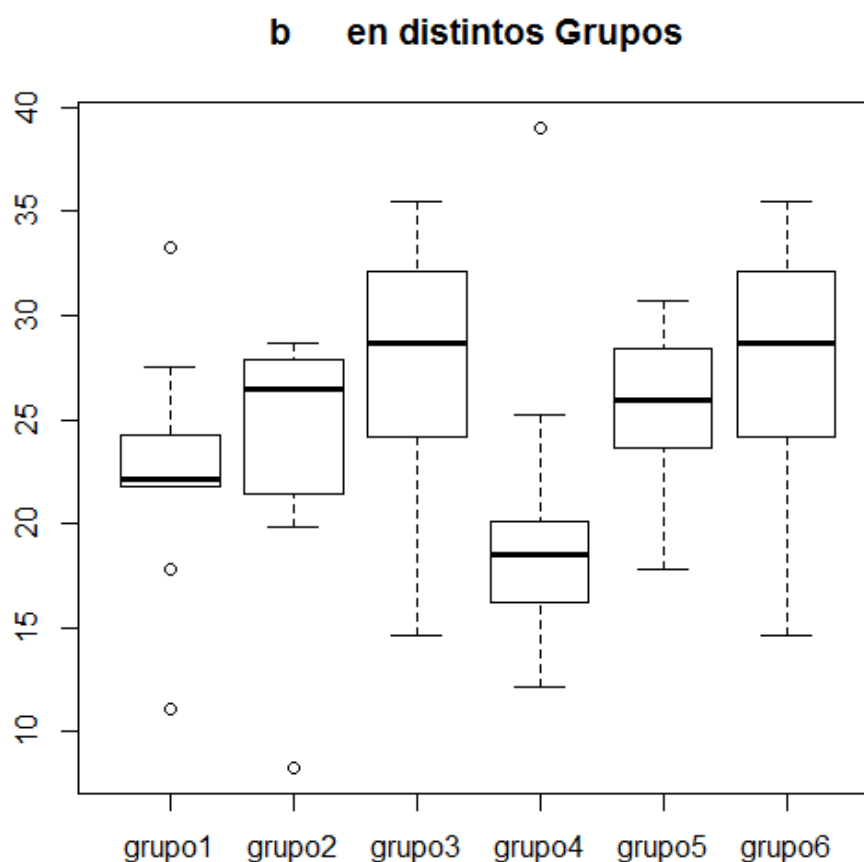


Fig.85. Evolución en semana 3 para b* en lo distintos grupos

Semana 4

No existen diferencias significativas en las medias de los diferentes grupos. El grupo 6 con una media de $(20,82 \pm 4,99)$, presenta blanqueamiento significativo ($<.001$) para el parámetro b^* en relación a la semana anterior ($27,86 \pm 6,22$). (Fig. 86)

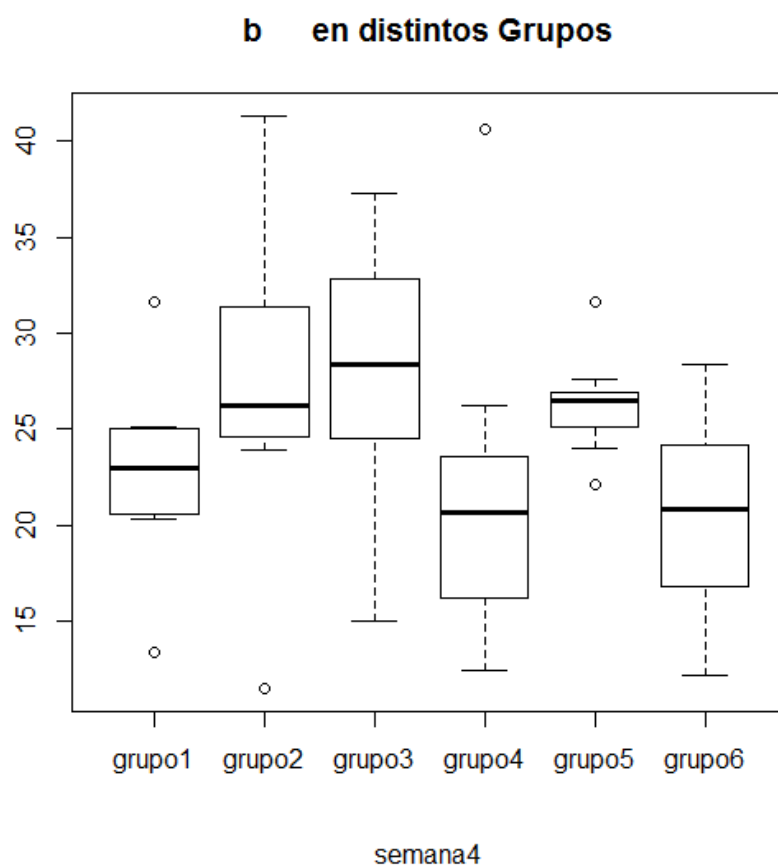


Fig.86. Evolución en semana 4 para b^* en lo distintos grupos

Semana 5

No hay diferencias significativas en los valores que tenemos para cada grupo, siendo los valores obtenidos los más semejantes de todas las semanas (fig.87).

El grupo 1 con una media de $20,52 \pm 3,50$ presenta una disminución significativa del color (0.024) en su evolución en el tiempo al compararlo con la media conseguida en la semana 4 ($22,87 \pm 4,64$), al igual que el grupo 2 ($22,47 \pm 9,53$; $p < .001$) y el grupo 5 ($23,59 \pm 2,81$; $p 0.007$).

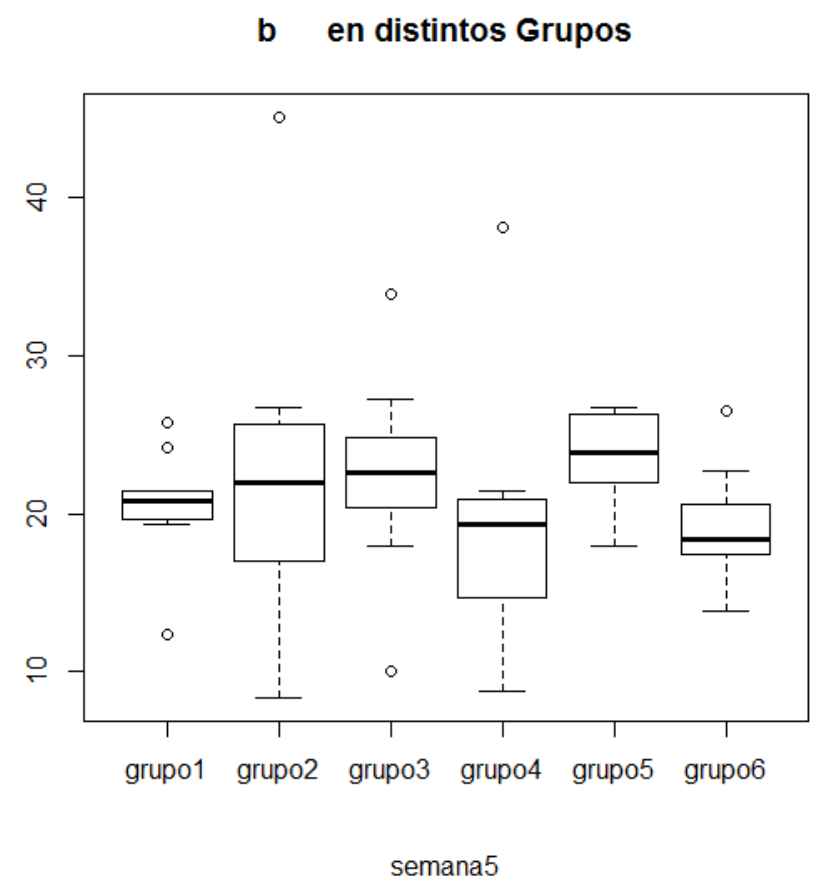


Fig.87. Evolución en semana 5 para b* en lo distintos grupos.

Semana 6

En esta semana la media más baja es la del grupo 6 ($19,86 \pm 4,09$), significativamente inferior (0.035) a la media del grupo 5 ($25,96 \pm 1,78$), y del grupo 3 ($27,44 \pm 6,92$; p 0.010) (fig. 88).

Las medias son superiores a la semana anterior, con un incremento significativo (0.018) en el grupo 5 con $25,96 \pm 1,78$ de media al final del estudio, frente a la media de $23,59 \pm 2,81$ que resultan en la semana 4.

b en distintos Grupos

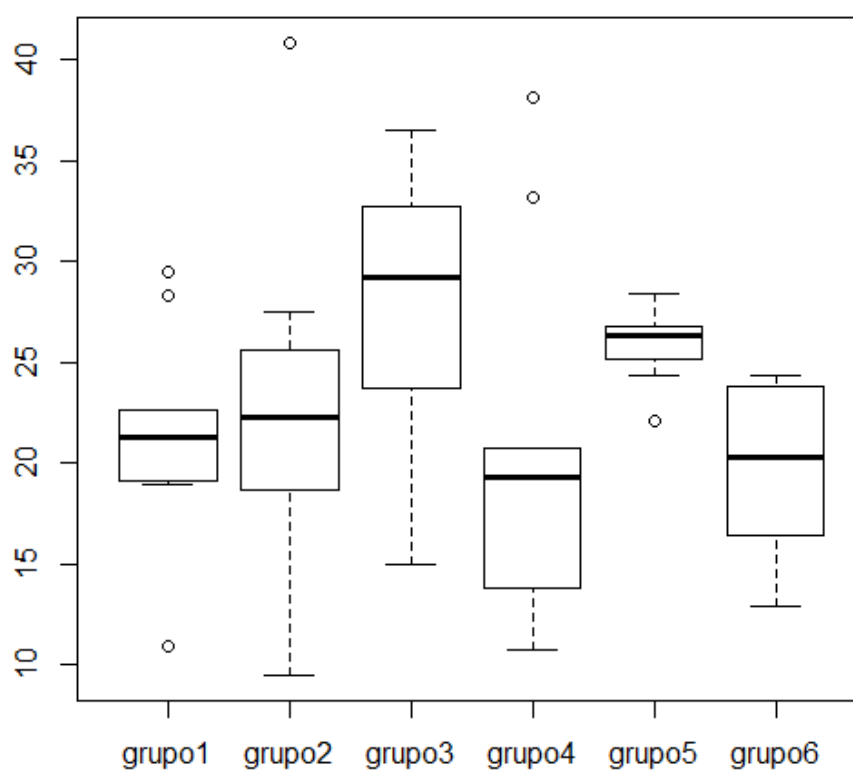


Fig.88. Evolución en semana 6 para b* en lo distintos grupos

Al inicio del tratamiento para el parámetro b*, el grupo con valor más alto es el grupo 3. Comienza una disminución significativa en la primera

semana en el grupo 1, que sigue disminuyendo significativamente en la semana 2. En el siguiente periodo de tiempo, el grupo 4 es el que presenta el menor valor (significativo con 3, 5 y 6). En la semana 4, el único que blanquea significativamente es el grupo 6, que es el que presenta el valor más bajo.

III.7. L* EN DISTINTOS GRUPOS

Basal

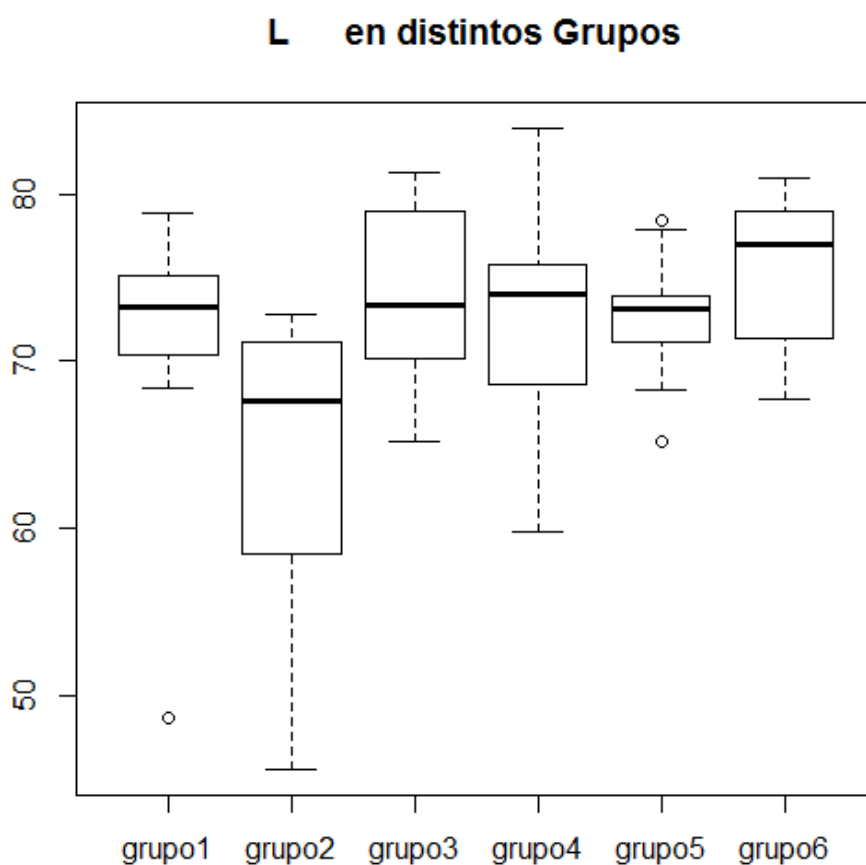


Fig.89. Evolución en basal para L* en lo distintos grupos.

La media más baja es la que presenta el grupo 2 con $64,52 \pm 8,68$, pero no existen diferencias significativas entre los diferentes grupos de triturados (fig.89).

Semana 1

La media más elevada es la existente en el grupo 6 ($79,32 \pm 3,30$) significativa con el grupo 1 ($72,51 \pm 7,15$; $p = 0.039$) y con el grupo 2 ($65,97 \pm 10,93$; $p < 0.001$) (fig. 90). Con respecto a la semana anterior el grupo 5 ($77,49 \pm 6,12$) y el grupo 6 ($79,32 \pm 3,30$) blanquean significativamente desde basal ($71,01 \pm 3,024$, media inicial en el grupo 5 y $75,53 \pm 4,72$, para el grupo 6) con $p < 0.001$ y 0.029 , respectivamente.

L en distintos Grupos

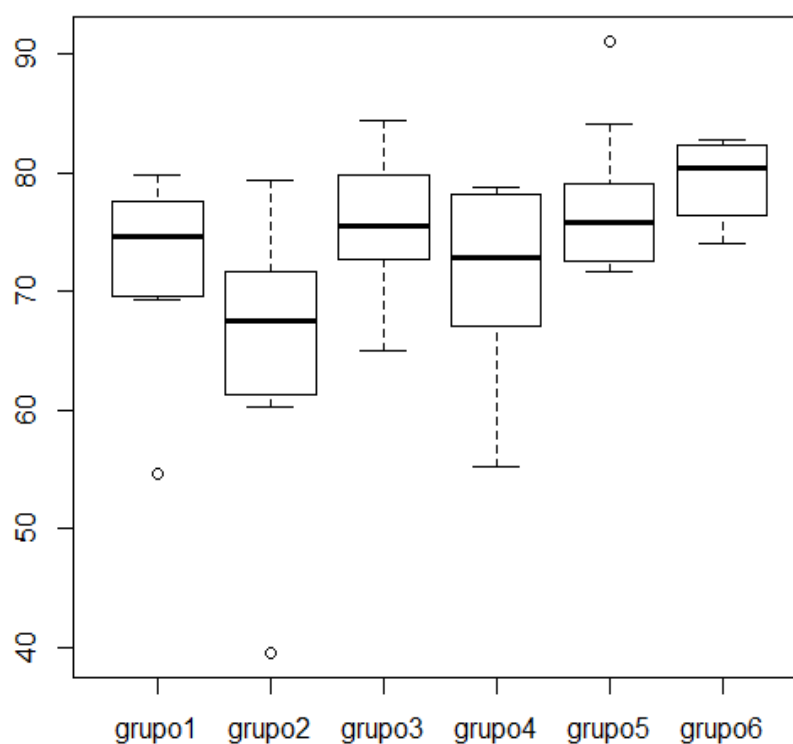


Fig.90. Evolución en la semana 1 para L* en lo distintos grupos.

Semana 2

En esta semana todos los grupos aumentan su valor, siendo el mayor el correspondiente al grupo 6 ($80,45 \pm 4,37$), que es significativo con respecto a la media del grupo 1 ($73,09 \pm 5,45$; p 0.020), del grupo 2 ($68,29 \pm 9,65$), y del grupo 4 ($72,95 \pm 8,71$; p 0.018).

En cuanto a la evolución del blanqueamiento, encontramos que sólo se produce un incremento significativo (0.044) en el grupo 3 ($78,58 \pm 6,42$) con respecto a la semana anterior ($75,88 \pm 5,53$).

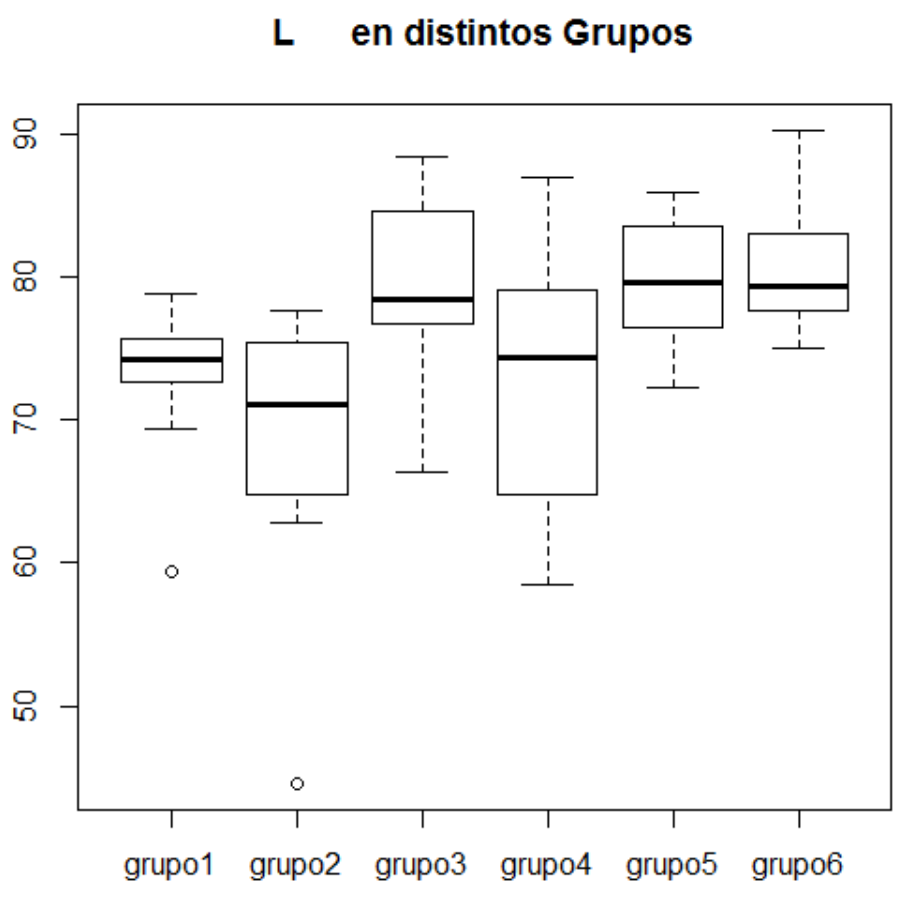


Fig.91. Evolución en la semana 2 para L* en lo distintos grupos.

Semana 3

En esta semana no se observan diferencias significativas en las medias de los grupos (fig.92).

En el grupo 1 ($77,56 \pm 8,44$; $p = 0.016$), grupo 2 ($73,36 \pm 10,46$; $p = 0.005$), y grupo 4 ($80,58 \pm 5,87$; $p < 0.001$), muestran blanqueamiento significativo desde la semana anterior ($73,09 \pm 5,45$; $68,29 \pm 9,65$; $72,95 \pm 8,71$).

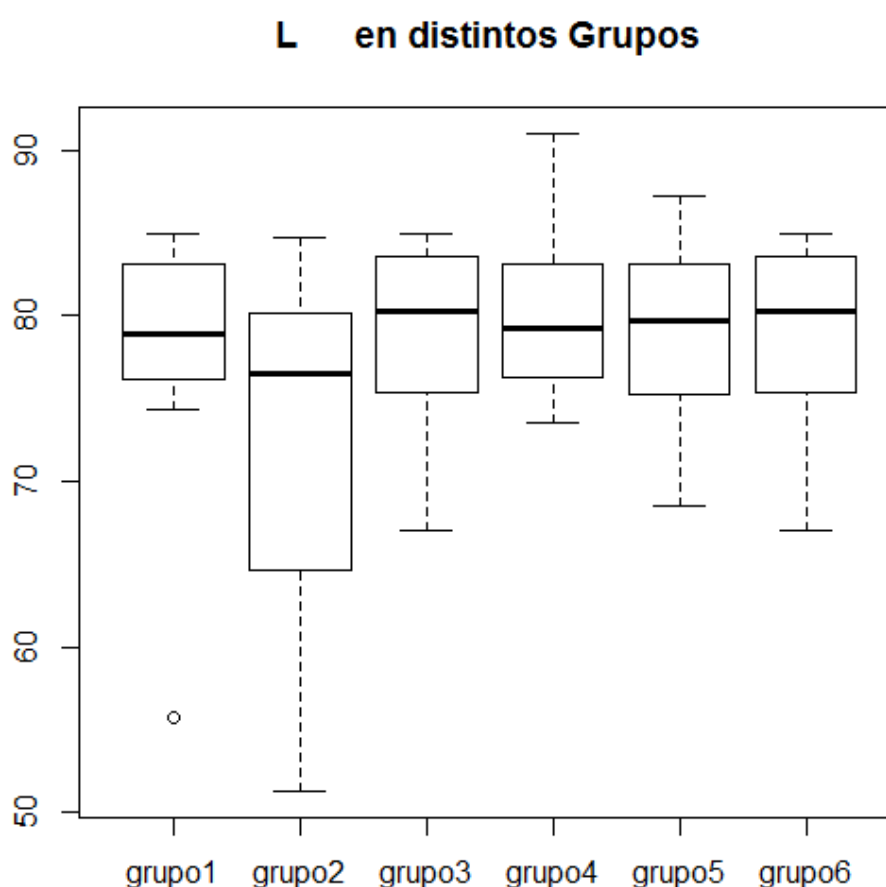


Fig.92. Evolución en la semana 3 para L* en lo distintos grupos

Semana 4

No existen diferencias significativas en las medias obtenidas en esta semana para los diferentes grupos.

En todos los grupos se incrementan las medias, pero sólo encontramos blanqueamiento significativo en el grupo 2 ($79,31 \pm 7,49$; p 0.001), en el grupo 4 ($83,84 \pm 5,99$; p 0.032) y en el grupo 6 ($83,78 \pm 5,45$; p 0.006) con respecto a la semana anterior (Fig.93).

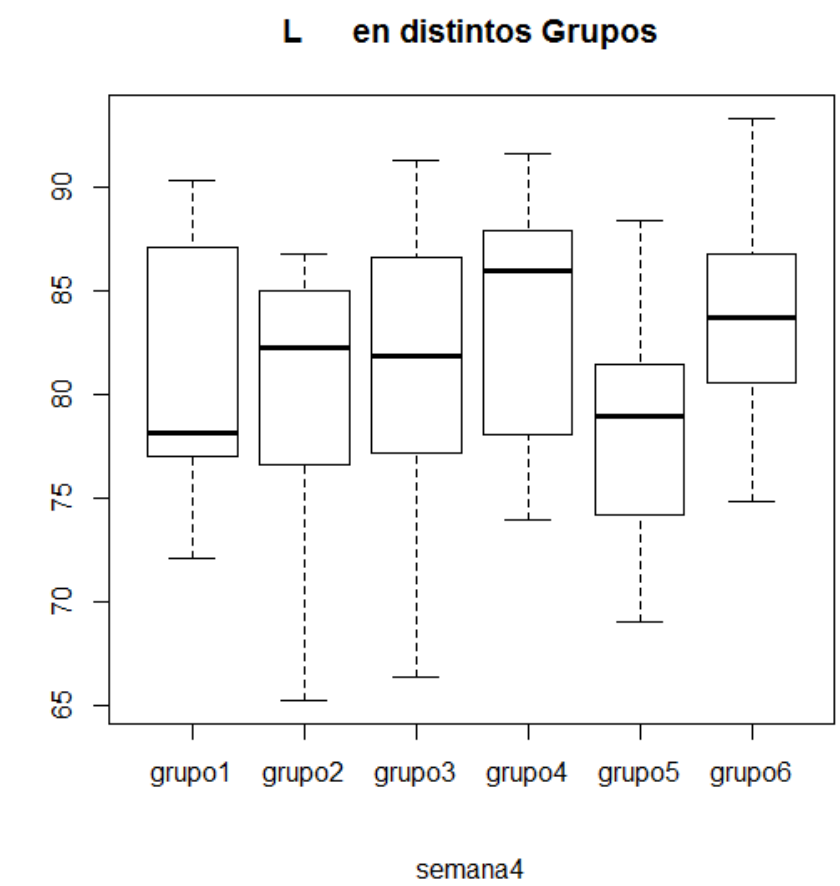


Fig.93. Evolución en la semana 4 para L* en lo distintos grupos

Semana 5

El grupo 1 es el que presenta el valor más alto $85,67 \pm 3,44$ significativamente superior (0.007) que el grupo 2 ($78,28 \pm 8,67$) y que el grupo 5 ($77,51 \pm 6,28$; $p < 0.003$) (fig.94), también existen diferencias significativas (0.028) entre el grupo 4 ($83,47 \pm 5,86$) y el 5 ($77,51 \pm 6,28$).

Solo se produce blanqueamiento significativo (0.004) en el grupo 1 en la semana 5 en relación a la semana anterior.

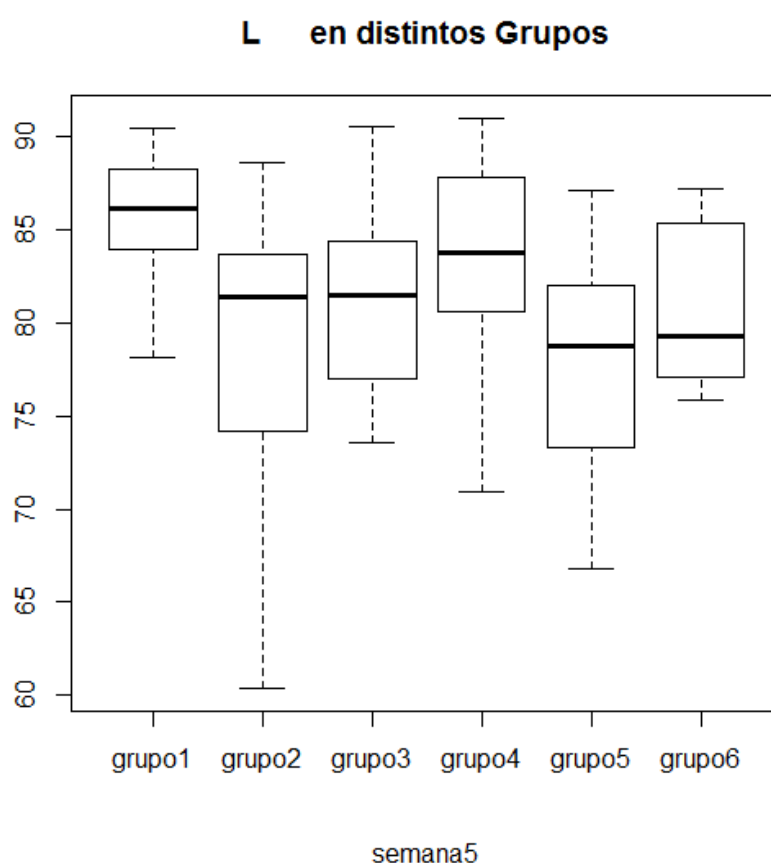


Fig.94. Evolución en la semana 5 para L* en lo distintos grupos

Semana 6

Entre los diferentes grupos no existen diferencias significativas en las medias para la semana 6 (fig.95).

El grupo 1 ($79,98 \pm 6,58$) disminuye de forma significativa (0.003) en esta semana, y el grupo 5 ($81,30 \pm 5,58$) y el grupo 6 ($87,23 \pm 6,55$) aumentan significativamente (0.006, y <0.001 , respectivamente).

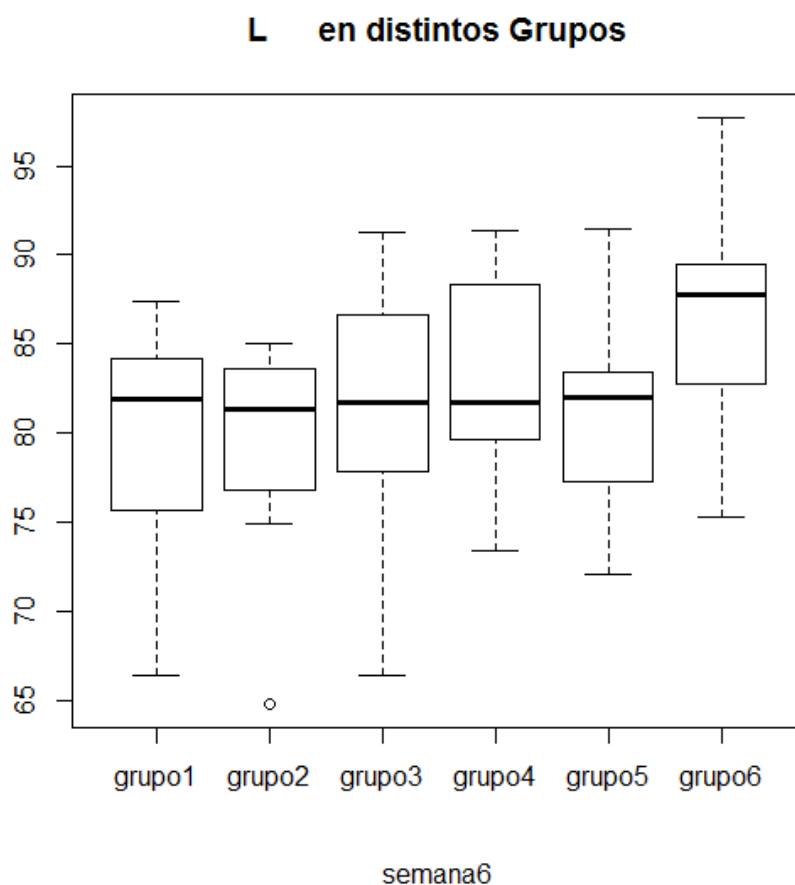


Fig.95. Evolución en la semana 5 para L* en lo distintos grupos

No existen diferencias significativas en las medias del inicio. El grupo 6 obtiene la media más elevada en la semana 1, que es significativamente mayor que la media de este grupo al inicio, por tanto es el único grupo en el que el blanqueamiento se produce desde el principio para el parámetro L^* . En la semana 3 no existen diferencias entre los grupos, al igual que en la semana 4. En la última semana de mediciones no muestran diferencias significativas entre los grupos.

III.8. ΔE . EVOLUCIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO

Para el estudio de la evolución a través del tiempo, se emplea la siguiente fórmula (fórmula para la evolución entre basal y la semana 1):

!

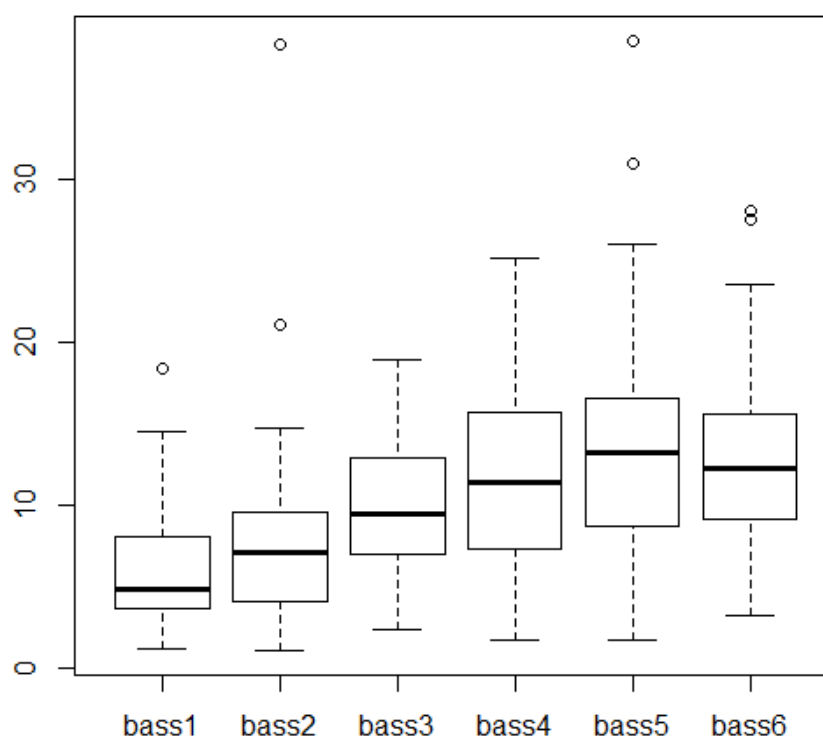
$$!!!!!! = \sqrt{!(!!!!!! - !!!!!!!)^2! + !(!!!!!! - !!!!!!!)^2! + !(!!!!!! - !!!!!!!)^2!}$$

!

Se trabaja con fórmulas similares para los demás tiempos. A continuación se representan los diagramas de cajas que permiten valorar la evolución a partir de cada uno de los tiempos con los tiempos posteriores.

ΔE entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	5,871	3,590	18,386	1,208
BS2	7,658	5,649	38,285	1,082
BS3	9,953	3,983	18,889	2,315
BS4	11,630	5,861	25,113	1,732
BS5	13,429	6,572	38,461	1,682
BS6	12,933	5,537	27,993	3,245

Tabla 11. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo**Evolución entre basal y las demás semanas**Fig. 96. Evolución para ΔE con respecto a la medida inicial

Se observa como las medias (tabla 11) a lo largo de las semanas van aumentando hasta la semana 5 de forma significativa a partir de BS1 con BS3 (<0.001) (fig.96). En el periodo de medición de semana 3 a semana 4 no existe diferencia significativa, pero si en ΔE de la semana 4 a la 5

(0.047). En la última semana se produce una disminución de la media, pero no es significativa con respecto a la anterior.

ΔE entre semana 1 y las demás semanas

Observamos como se va produciendo un aumento significativo hasta el incremento que se obtiene en la semana 5 (<0.001) (fig.97). En el ΔE de la diferencia medida entre la semana 1 y la semana 6 se produce una disminución con respecto a la anterior pero sin diferencia significativa.

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	5,443	4,623	33,513	0,67
S1S3	7,981	4,713	20,719	0,141
S1S4	9,469	6,453	26,249	0,836
S1S5	11,385	5,829	31,459	1,688
S1S6	10,442	5,513	26,010	1,926

Tabla 12. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo

Evolución entre semana1 y las demás semanas

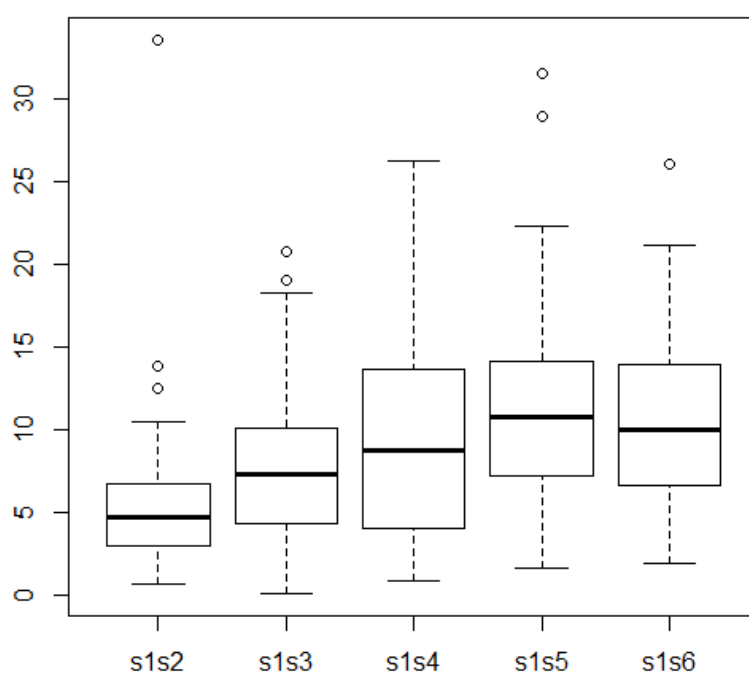


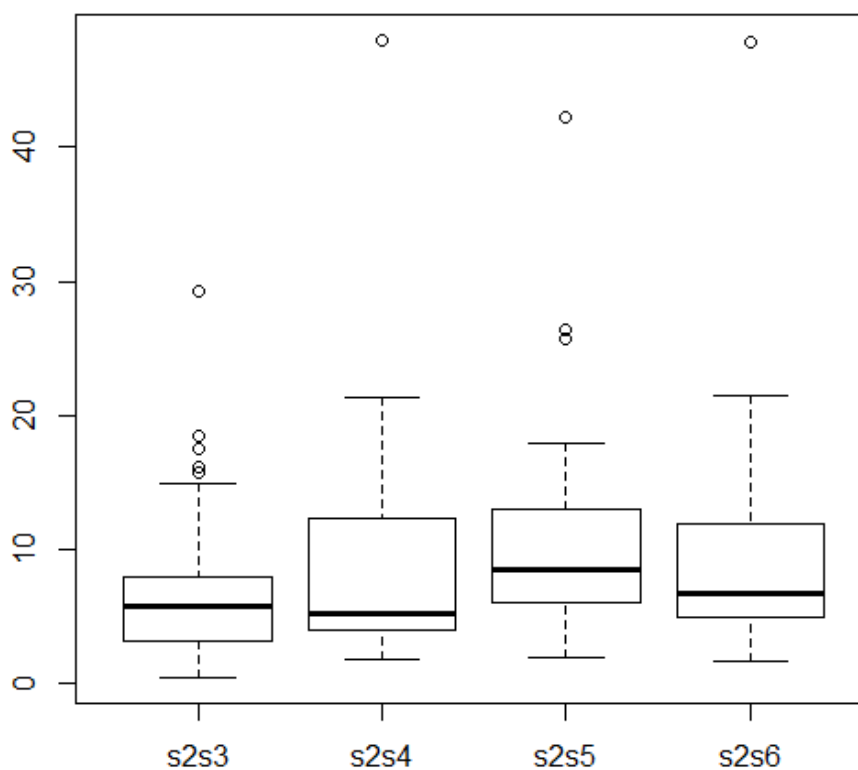
Fig. 97. Evolución para ΔE con respecto a la semana 1

ΔE entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	6,937	5,411	29,320	0,500
S2S4	8,477	7,355	47,938	1,844
S2S5	10,279	6,743	42,260	1,897
S2S6	9,068	7,186	47,794	1,658

Tabla 13. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo

Se observa un incremento de las medias de forma significativa hasta S2S5 (fig.98), del periodo S2S3 a S2S4 $p=0.020$, y $p<0.001$ en los siguientes incrementos. El ΔE del último periodo disminuye con respecto al del periodo anterior pero sin diferencias significativas.

Evolución entre semana2 y las demás semanasFig. 98. Evolución para ΔE con respecto a la semana 2

ΔE entre semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	7,121	5,747	28,064	0,871
S3S5	7,896	5,959	31,007	0,924
S3S6	7,508	6,421	35,011	0,781

Tabla 14. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo

Como podemos observar en el diagrama de cajas (fig.99) las medias obtenidas son estables en esta semana y con valores semejantes, sin que existan diferencias significativas.

Evolución entre semana3 y las demás semanas

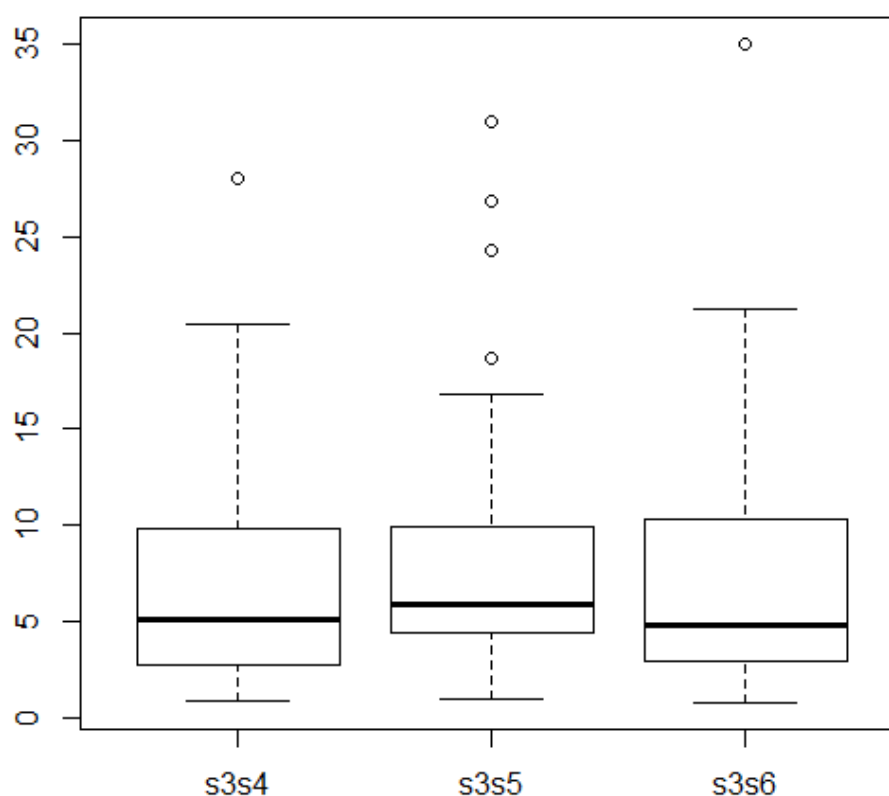


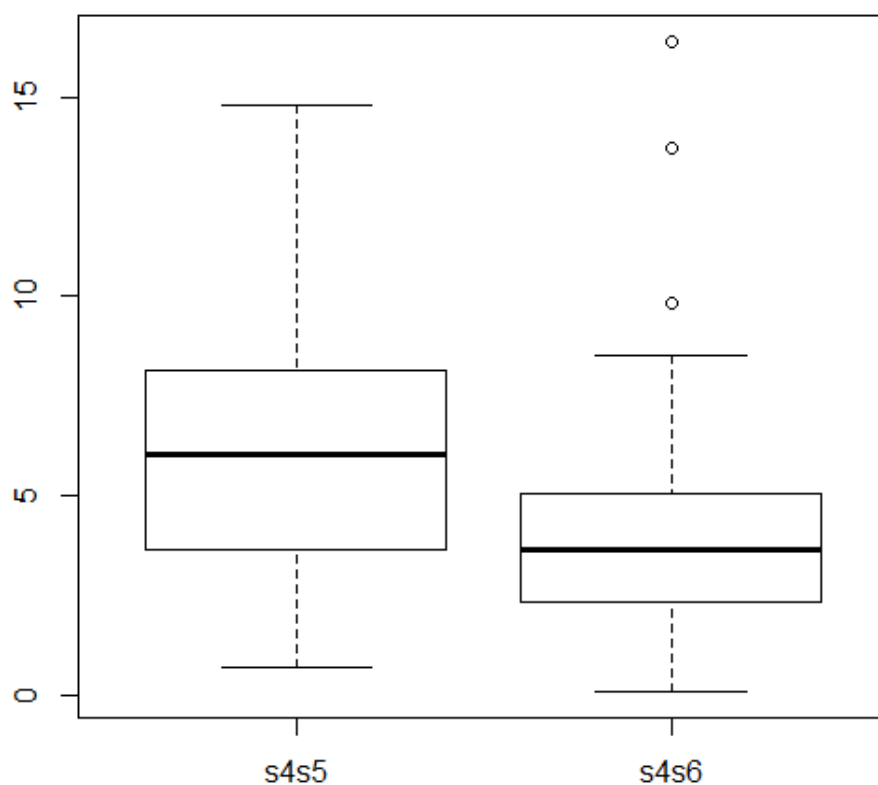
Fig. 99. Evolución para ΔE con respecto a la semana 3

ΔE entre semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	6,277	3,165	14,79	0,707
S4S6	4,216	3,047	16,377	0,100

Tabla 15. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo

Observamos como se produce una disminución en la media en la última semana con respecto a la anterior (fig.100), de forma significativa ($p=0.004$).

Evolución entre semana4 y las demás semanasFig.100. Evolución para ΔE con respecto a la semana 4

En la comparación desde basal se observa un aumento en ΔE en todas las semanas, y de forma significativa entre la semana 1 y la 2. En la última semana disminuye, pero no significativamente. En la comparación de las diferentes semanas con la semana 1, se produce aumento significativo hasta la semana 5. Entre semana 1 y semana 6 hay una disminución no significativa. Entre semana 2 con respecto a las siguientes semanas aumenta significativamente hasta la 5, disminuyendo en el último periodo pero no es significativo. En la comparación de la semana 3 las medias son semejantes por lo que no hay un blanqueamiento significativo. Y de la semana 4 comparada con las otras, se observa una disminución significativas con respecto al última semana

III.9. EVOLUCIÓN A TRAVÉS DE LOS GRUPOS DE TRITURADO

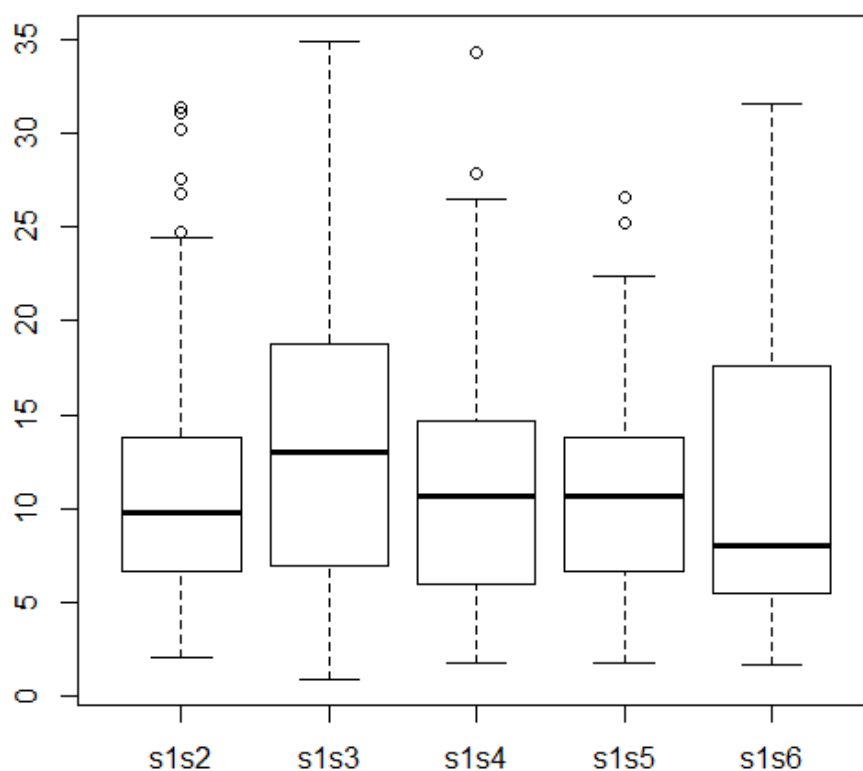
Para la valoración de la evolución a través de los grupos de triturado, aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Evolución} = \frac{\text{Mediana}_{\text{grupo 1}} - \text{Mediana}_{\text{grupo 2}}}{\text{Mediana}_{\text{grupo 1}} + \text{Mediana}_{\text{grupo 2}}} + \frac{\text{Mediana}_{\text{grupo 2}} - \text{Mediana}_{\text{grupo 3}}}{\text{Mediana}_{\text{grupo 2}} + \text{Mediana}_{\text{grupo 3}}} + \frac{\text{Mediana}_{\text{grupo 3}} - \text{Mediana}_{\text{grupo 4}}}{\text{Mediana}_{\text{grupo 3}} + \text{Mediana}_{\text{grupo 4}}}$$

Se trabaja con fórmulas similares para los demás grupos. A continuación se indican los datos obtenidos que permiten valorar la evolución a partir de cada uno de los grupos con los de mayor tiempo de trituración

III.9.1. ΔE entre grupo 1 y los demás grupos

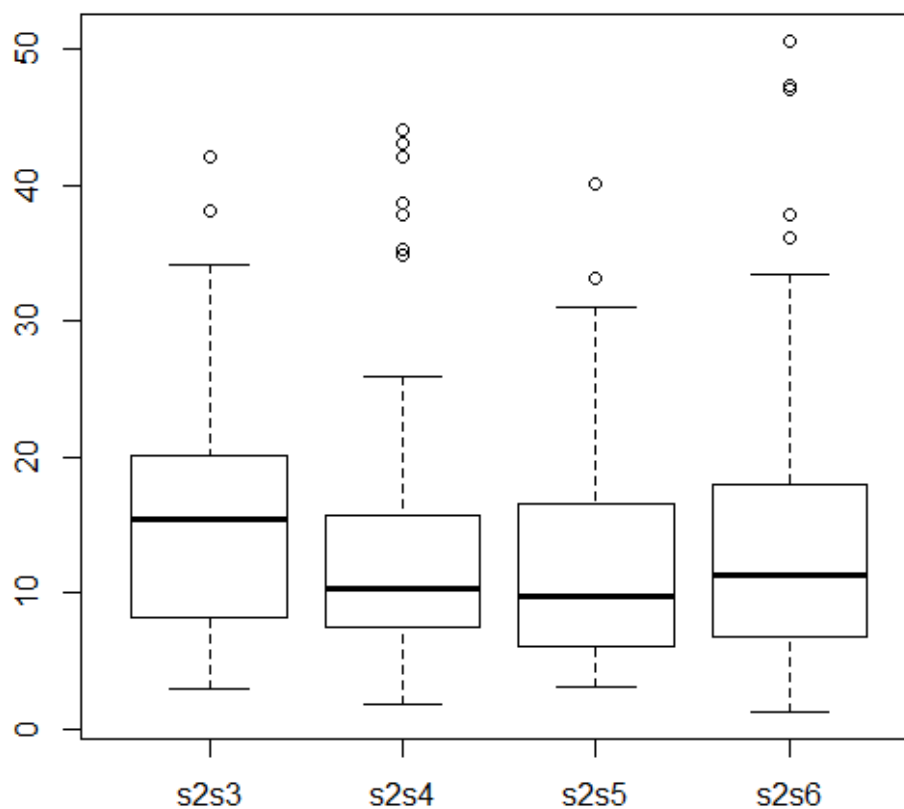
	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	11,617	7,253	31,371	2,098
G1G3	13,084	7,026	34,86	0,953
G1G4	11,371	7,197	34,245	1,797
G1G5	10,678	5,439	26,561	1,780
G1G6	11,331	7,539	31,597	1,723

Tabla 16. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo**Evolución entre grupo1 y los demás grupos**Fig.101. Evolución para ΔE con respecto al grupo 1

No se encuentran diferencias significativas en los resultados obtenidos comparando el grupo 1 en comparación con los demás, observándose medias similares (fig.101).

ΔE entre grupo 2 y los demás grupos

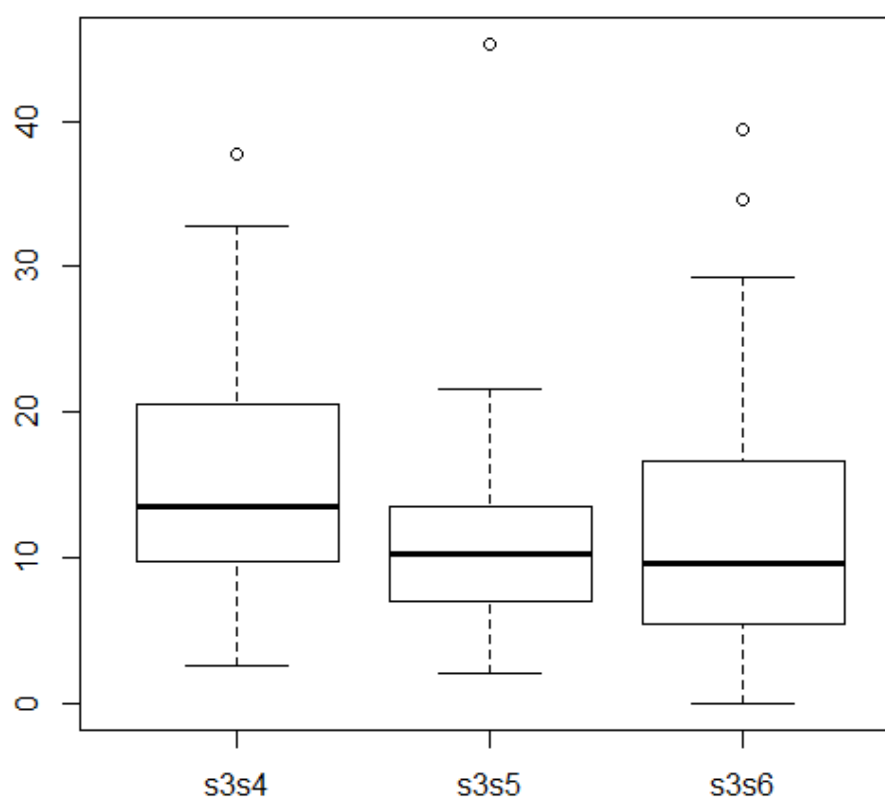
	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G2G3	15,597	8,449	42,013	2,922
G2G4	13,494	10,044	44,012	1,794
G2G5	12,107	3,145	40,065	3,145
G2G6	14,443	10,913	40,065	3,145

Tabla 16. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo**Evolución entre grupo2 y los demás grupos**Fig.102. Evolución para ΔE con respecto al grupo 2

No existen diferencias significativas entre las diferentes medias (fig.102).

ΔE entre grupo 3 y los demás grupos

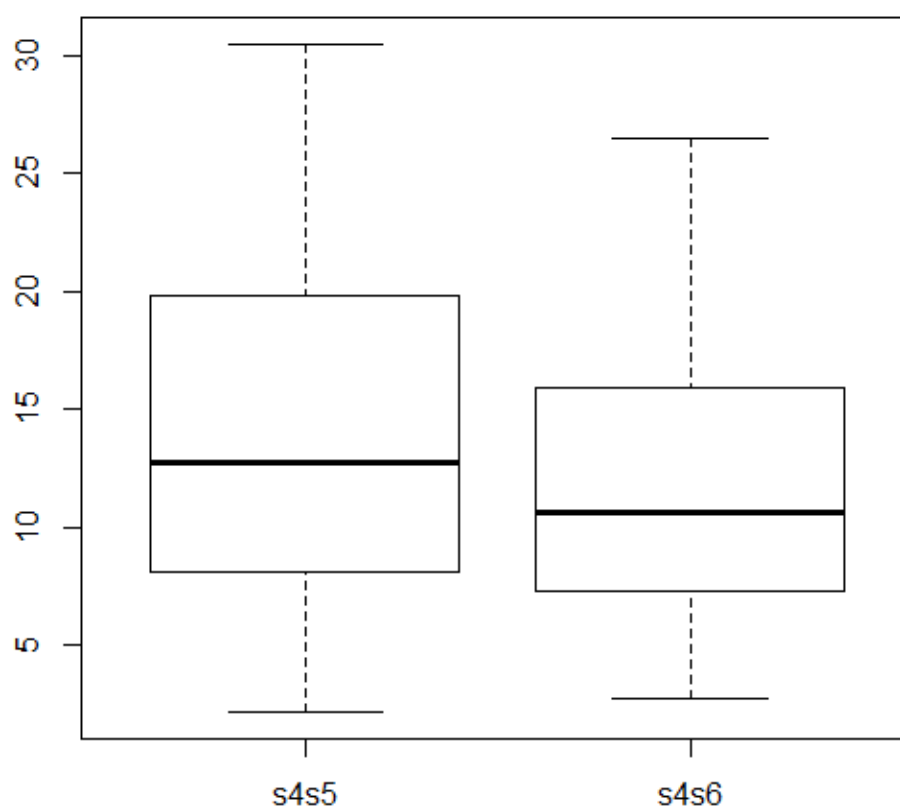
	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G3G4	15,514	7,258	37,735	2,524
G3G5	10,665	6,186	45,292	2,047
G3G6	11,211	8,390	39,503	0,000

Tabla 17. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo**Evolución entre grupo3 y los demás grupos**Fig.103. Evolución para ΔE con respecto al grupo 3

Existe una disminución significativa en la media para ΔE cuando comparamos el G3G4 con G3G6 ($p < 0.001$) y G3G5 con G3G6 ($p = 0.004$) (fig.103).

ΔE entre grupo 4 y los demás grupos

!	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G4G5	13,49	6,90	30,44	2,20
G4G5	11,653	5,839	26,471	2,715

Tabla 18. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo**Evolución entre grupo4 y los demás grupos**Fig.104. Evolución para ΔE con respecto al grupo 4

Se observa en el diagrama de cajas que la media es menor en G4G6 (fig.104). No se hallaron diferencias significativas en la comparación de las medias obtenidas para este parámetro.

III.10. EVALUACIÓN A TRAVÉS DE LAS SEMANAS DENTRO DE CADA GRUPO DE TRITURADO

Se estudia la evolución de esta variable dentro de cada uno de los grupos de triturado. Esto permite conocer la evolución a lo largo del tiempo para cada uno de los distintos triturados.

Grupo 1

Evolución entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	4,835	2,613	8,331	1,393
BS2	6,765	3,922	13,064	1,603
BS3	8,386	3,178	13,217	2,315
BS4	11,118	7,165	25,113	1,732
BS5	17,013	8,391	38,461	8,203
BS6	12,213	4,309	18,126	3,245

Tabla 19. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 1

Se puede observar como las medias obtenidas en el grupo 1 van aumentando a lo largo de las semanas con respecto a la basal, hasta la semana 5 y en la siguiente semana se produce una disminución de la media, siendo significativas las diferencias que encontramos para BS1 con respecto a BS3 ($p=0.002$), BS4 ($p<0.001$), BS5 ($p<0.001$), BS6 ($p<0.001$); para BS2 con respecto a BS4 ($p=0.0023$), con BS5 ($p<0.001$), y con BS6 ($p<0.001$); para BS3 con respecto a BS5 ($p<0.001$) y BS6 0.0498; y por último de BS4 a BS5 ($p=0.0034$). Es decir se

consiguen incrementos significativos a partir de la semana 3 hasta la semana 5.

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	4,764	2,265	7,811	1,797
S1S3	6,443	2,299	9,832	2,751
S1S4	8,523	6,828	19,372	0,836
S1S5	14,401	6,854	31,549	7,131
S1S6	9,222	4,037	16,735	1,926

Tabla 20. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 1

Las medias van incrementando a medida que va transcurriendo el tiempo, hasta la semana 5. Existe significación estadística entre S1S2 con respecto a S1S5 (<0.001) y con S1S6 (0.006), aunque en este periodo la media disminuye con respecto a la anterior, se observa una media significativamente más alta que en las medidas iniciales. Además encontramos diferencias estadísticas entre S1S3 con S1S5 (0.001) y S1S4 con S1S5 (<0.001) y entre S1S5 con S1S6 (0.038) que en este caso indica una disminución significativa de la media.

Evolución entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	5,956	2,140	7,826	1,814
S2S4	8,144	5,433	16,641	3,354
S2S5	13,366	5,488	26,421	7,963
S2S6	8,101	3,868	14,907	2,249

Tabla 21. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 1

Encontramos aumento progresivo de las medias al transcurrir las semanas, disminuyendo de forma significativa desde S2S5 a S2S6 (0.005). Encontramos diferencias estadísticas S2S3 con respecto a S2S5 (<0.001) y S2S4 con S2S5 (0.002).

Evolución entre semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	7,133	4,849	17,704	2,488
S3S5	9,174	8,299	31,008	2,460
S3S6	5,910	3,567	10,797	1,237

Tabla 21. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 1

Se produce un incremento hasta S3S6 intervalo en el que se produce una disminución. No existen diferencias significativas.

Evolución entre semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	6,854	3,987	13,445	2,161
S4S6	4,541	1,676	7,523	2,071

Tabla 22. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 1

Se produce una disminución en la media de S4S6 a S4S5, sin significación estadística. Por tanto observamos que desde el inicio en el grupo 1 de triturado las medias para ΔE van aumentando a lo largo de las semanas lo que indica blanqueamiento de forma significativa, pero a partir de la semana 3 los incrementos no son significativos.

Grupo 2

Evolución entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	5,264	3,308	10,242	1,208
BS2	7,181	3,142	13,382	3,289
BS3	11,375	3,820	18,603	6,661
BS4	15,798	4,955	22,139	8,465
BS5	16,53	4,330	26,05	11,18
BS6	17,03	5,671	27,47	10,51

Tabla 23. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 2

En el grupo 2 se observa que se va produciendo un aumento de la media hasta la última semana, aunque no existe diferencia significativa en este último incremento. La significación estadística comienza con la comparación de BS1 a BS3 (<0.001) y a partir de aquí que se produce blanqueamiento de forma significativa hasta la diferencia entre basal y la semana 5.

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	5,188	1,964	9,540	3,028
S1S3	9,439	5,569	20,719	2,879
S1S4	13,814	8,185	26,249	1,400
S1S5	14,156	5,986	22,256	3,059
S1S6	14,692	6,326	26,010	3,471

Tabla 24. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 2

En la evolución entre la semana 1 y las demás semanas en el grupo 2 vemos que a medida que van transcurriendo las semanas se produce un aumento significativo de las medias de S1S2 comparada con las siguientes semanas (S1S2 con S1S3 $p=0.013$; y a partir de este intervalo

$p < .001$). También se produce un blanqueamiento significativo en las 2 últimas semanas con respecto al ΔE calculado para la diferencia de color de la semana 1 con respecto a la semana 3. A partir de aquí no existen diferencias significativas.

Evolución entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Mínimo	Máximo
S2S3	6,981	4,901	17,572	1,175
S2S4	12,121	6,153	21,334	4,071
S2S5	11,334	4,828	17,756	5,801
S2S6	11,919	6,229	20,572	4,836

Tabla 25. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 2

Como en las otras semanas se ve aumento progresivo de las medias, siendo significativo desde S2S3 con respecto a las demás semanas ($p=0.003$ con S2S4; $p=0.011$ con S2S5 y $p=0.005$ con S2S6).

Evolución entre semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	7,511	5,347	18,835	0,911
S3S5	8,102	4,874	18,678	1,025
S3S6	8,629	6,509	21,265	1,025

Tabla 26. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 2

Se observa que las medias van aumentando hasta el final pero no existen diferencias significativas.

Evolución entre semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	6,451	2,551	10,562	2,441
S4S6	6,130	4,408	16,377	1,749

Tabla 27. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 2

Si observamos las medias vemos disminución ligera en el último ΔE calculado, pero no encontramos diferencias significativas. Por tanto en el grupo 2 no se observa blanqueamiento significativo a partir de la semana 3.

Grupo 3

Evolución entre basal y las demás semanas

Las medias van aumentando a medida que pasan las semanas disminuyendo ligeramente en la semana 6. Existen diferencias significativas en ΔE calculado de semana 1 a basal con respecto al resto de las medias. También existen diferencias significativas entre BS2 y BS5 (0.010) y entre BS2 y BS6 (0.040). La variación de color es mayor en ΔE obtenido entre basal y la semana 5.

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	5,251	2,574	12,089	2,385
BS2	10,156	10,171	38,285	2,205
BS3	8,402	2,322	12,500	4,811
BS4	12,106	5,040	22,066	3,320
BS5	14,473	7,068	30,916	4,193
BS6	12,400	4,907	22,519	6,302

Tabla 28. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	7,496	9,537	33,513	1,500
S1S3	4,975	2,912	10,357	1,643
S1S4	9,644	5,838	19,802	1,913
S1S5	12,106	6,608	28,894	5,594
S1S6	9,915	5,702	20,253	3,114

Tabla 29. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 3

Se produce un incremento significativo de la media (0.040) de S1S4 con respecto a S1S2 que continua hasta el final, teniendo en cuenta que en S1S6 se produce una disminución de la media con respecto a S1S5 pero no de forma significativa.

Evolución entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	5,666	8,481	29,320	0,500
S2S4	10,421	13,739	47,938	1,844
S2S5	13,302	11,908	42,260	3,700
S2S6	10,855	13,559	47,794	2,581

Tabla 30. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 3

Se produce un incremento de las medias a medida que transcurren las semanas, disminuyendo ligeramente en la última media sin significación estadística con respecto a la media anterior. Si hay una variación significativa del color de S2S3 al resto de las medias para ΔE (S2S3 con S2S4 0.013; S2S3 con S2S5 <0.001; S2S3 con S2S6 0.006).

Evolución entre semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	9,316	5,828	19,013	1,679
S3S5	9,323	6,074	24,265	3,105
S3S6	7,333	5,731	18,838	1,822

Tabla 31. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 3

Se observa un ligero aumento de la media desde S3S4 a S3S5 pero sin diferencias significativas

Evolución entre semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	7,656	3,628	14,790	2,634
S4S6	1,461	1,242	3,600	0,100

Tabla 32. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 3

Existe una disminución de la media de forma estadísticamente significativa (0.001). En el grupo 3 se produce una variación de color indicando blanqueamiento de forma significativa hasta la semana 2. A partir de aquí no hay diferencias significativas.

Grupo 4

Evolución entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	7,500	4,230	14,496	2,081
BS2	8,112	4,696	14,696	1,082
BS3	11,337	4,386	18,889	6,519
BS4	13,456	4,309	20,369	7,369
BS5	14,195	4,457	20,945	6,363
BS6	13,273	4,746	22,019	7,061

Tabla 33. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 4

Se observa un incremento significativo en el valor desde basal con la primera semana con respecto al ΔE de la tercera semana (0.008) y a partir de aquí encuentra diferencias significativas hasta la semana 6 (<0.001).

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	6,146	3,043	12,504	2,638
S1S3	10,063	5,119	18,988	4,469
S1S4	13,165	5,856	26,053	6,398
S1S5	13,357	3,271	18,796	6,999
S1S6	13,244	4,610	20,144	7,474

Tabla 34. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 4

Se puede observar como aumentan las medias lo que indica blanqueamiento, disminuyendo ligeramente ΔE en S1S6 con respecto a la semana anterior, pero sin que exista diferencia significativa en este periodo ($p=0,938$). ΔE obtenido en la semana 1 con respecto a la semana 2 presenta diferencias significativas con respecto a todas las medias ($p=0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$ respectivamente). A partir de aquí sólo se observa incremento significativo en las medias obtenidas en el cálculo de la variación de color de la semana 1 con la semana 3 comparándola con ΔE para la variación de la semana 1 en relación con la semana 4 ($p=0.037$) y en la diferencia para la semana 1 en relación con la semana 5 ($p=0.033$). Por tanto se consigue un incremento significativo de ΔE hasta S1S5.

Evolución entre la semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	7,935	5,303	15,712	1,237
S2S4	11,301	5,052	17,177	2,147
S2S5	11,090	5,787	17,885	1,897
S2S6	11,045	6,539	21,456	2,588

Tabla 35. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 4

Se observa un incremento de las medias hasta el ΔE calculado para la semana 2 con respecto a la 4, y a partir de aquí disminuye significativamente, pero no se observa en ningún caso que exista significación estadística.

Evolución entre semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	4,646	3,395	10,058	0,871
S3S5	5,290	2,626	9,945	1,985
S3S6	5,053	3,842	13,254	0,781

Tabla 36. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 4

Se observan incremento en las medias, disminuyendo ligeramente al final. No hay diferencias significativas.

Evolución entre la semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	5,567	3,184	10,215	1,703
S4S6	5,931	3,513	13,706	2,876

Tabla 37. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 4

No se observan en el análisis estadístico diferencias significativas.

En el grupo 4 no observamos diferencias significativas a partir de los incrementos existentes en la semana 1.

Grupo 5

Evolución entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	7,519	4,931	18,386	2,360
BS2	7,569	3,844	13,030	2,035
BS3	8,137	4,255	15,023	2,780
BS4	8,059	4,837	16,686	2,163
BS5	9,114	4,290	16,537	2,619
BS6	9,856	4,957	19,530	3,466

Tabla 38. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 5

No existen diferencias significativas en el incremento de medias que se observa a lo largo del tiempo, al comparar basal con las diferentes semanas.

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	5,882	3,616	13,802	0,670
S1S3	6,354	3,576	13,245	0,141
S1S4	6,354	2,294	9,401	2,631
S1S5	7,341	3,059	12,300	3,739
S1S6	6,487	3,260	10,406	2,693

Tabla 39. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 5

Se observa un incremento desde la diferencia obtenida la primera semana a medida que va transcurriendo el tiempo, disminuyendo ligeramente en la última media, pero no existen diferencias significativas

Evolución entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	3,644	1,449	5,778	1,775
S2S4	4,344	1,184	6,247	2,514
S2S5	6,126	1,856	9,571	2,891
S2S6	4,700	1,991	7,729	1,658

Tabla 40. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 5

Vemos como hay un aumento progresivo de las medias para ΔE , disminuyendo la última media obtenida, de forma estadísticamente significativa en la diferencia de la semana 2 con la semana 5 (0.033). Encontramos incremento significativo en la diferencia entre ΔE de la semana 3 con respecto a la semana 2 y ΔE en la semana 5 ($p < 0.001$) y en ΔE de la semana 4 a ΔE de la semana 5 ($p = 0.009$).

Evolución entre la semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	3,139	1,450	6,540	1,345
S3S5	3,626	1,641	6,169	0,927
S3S6	3,775	1,530	6,948	1,530

Tabla 41. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 5

Podemos observar como hay un incremento de las medias al transcurrir las semanas pero no significativos.

Evolución entre la semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	4,107	2,11	6,57	0,707
S4S6	2,811	1,493	5,308	0,707

Tabla 42. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 5

En la última semana se obtiene una disminución en la media de ΔE , pero no de forma significativa.

En el grupo 5 sólo existen diferencias significativas para ΔE cuando comparamos la diferencia entre la semana 2 y 3 con la semana 2 y 5; semana 2 y 4 con la semana 2 y 5; y en la comparación entre el ΔE obtenido en la semana 2 y 5 con el hallado en la semana 2 con la última semana.

Grupo 6

Evolución entre basal y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
BS1	4,858	2,957	11,394	1,655
BS2	6,161	5,732	21,053	1,330
BS3	12,082	4,255	17,586	3,913
BS4	9,243	6,154	23,343	4,401
BS5	9,249	6,230	22,178	1,682
BS6	12,822	6,985	27,993	6,044

Tabla 43. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 6

En la evolución de basal con respecto al resto de las semanas se ve que aumenta la media progresivamente desde BS1 de forma significativa a partir de BS3 hasta BS6 ($p < 0.001$; $p = 0.004$; $p = 0.012$; $p < 0.001$; respectivamente). Existen diferencias significativas de BS2 al resto de las semanas ($p < 0.001$; $p = 0.011$; $p = 0.029$; $p < 0.001$). Existe un incremento

significativo de ΔE en la última semana con respecto a la anterior ($p=0.031$).

Evolución entre semana 1 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S1S2	1,186	2,479	9,801	1,118
S1S3	10,612	5,603	17,718	0,824
S1S4	5,317	4,317	13,466	1,490
S1S5	6,948	3,560	11,927	1,688
S1S6	9,095	5,330	20,381	3,770

Tabla 44. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 6

Se observa un incremento significativo de ΔE a lo largo de las semanas, excepto en S1S2 con S1S4 (S1S2/S1S3 $p<0.001$; S1S2/S1S5 $p=0.012$; S1S2/S1S6 $p<0.0019$). Además se observa un aumento significativo de S1S4 con S1S6 ($p=0.028$).

Evolución entre semana 2 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S2S3	11,442	4,758	18,469	4,415
S2S4	4,357	2,386	10,588	1,847
S2S5	6,459	2,793	10,098	2,793
S2S6	7,789	3,626	17,503	4,909

Tabla 45. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 6

La media más alta se obtiene en S2S3, significativamente mayor que S2S4 ($p<0.001$) y S2S5 ($p=0.002$). Por tanto blanquea hasta la semana 3.

Evolución entre la semana 3 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S3S4	13,181	7,173	28,065	2,687
S3S5	11,863	6,656	26,878	4,819
S3S6	14,347	9,319	35,011	1,187

Tabla 46. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 6

No se observa significación estadística en las medias obtenidas.

Evolución entre la semana 4 y las demás semanas

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
S4S5	4,107	2,11	6,57	0,707
S4S6	2,811	1,493	5,308	0,707

Tabla 47. Valores estadísticos para ΔE en función del tiempo en el grupo 6

Hay una disminución no significativa de las medias

Se observa un incremento significativo desde basal a la semana 3, a partir de aquí no hay diferencias significativas. En la última semana se produce disminución del color pero no significativamente.

III.11. EVOLUCIÓN A TRAVÉS DEL TRITURADO DENTRO DE CADA TIEMPO

Estudiamos la evolución de ΔE dentro de cada uno de los grupos de triturado. Esto permite conocer la evolución a lo largo del tiempo de exposición para cada uno de los distintos triturados.

Para ello se emplea, la siguiente fórmula (ejemplo basal con semana 1) que será similar para los demás tiempos:

$$d_{i,j} = \sqrt{(\bar{x}_{i1} - \bar{x}_{j1})^2 + (\bar{x}_{i2} - \bar{x}_{j2})^2 + (\bar{x}_{i3} - \bar{x}_{j3})^2}$$

A continuación exponemos los datos obtenidos para esta variable del estudio.

Tiempo basal

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	14,036	7,965	26,819	3,154
G1G3	13,950	6,185	24,138	6,304
G1G4	11,068	7,302	25,861	2,052
G1G5	9,590	7,236	25,183	1,780
G1G6	12,921	11,087	31,597	1,900
G2G3	17,661	7,368	30,132	6,853
G2G4	14,194	10,446	37,885	5,975
G2G5	13,051	8,456	30,135	5,244
G2G6	16,684	12,840	46,986	3,409
G3G4	13,724	5,007	21,953	6,838
G3G5	10,898	3,721	17,635	3,785
G3G6	12,896	6,966	23,124	4,332
G4G5	10,712	7,021	20,814	2,492
G4G6	11,184	4,879	17,489	3,350
G5G6	10,574	4,669	17,475	3,596

Tabla 48. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en tiempo basal

La media más baja para ΔE se obtiene en G1G5. No se encuentran diferencias significativas entre los diferentes grupos.

Semana 1

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	13,480	7,705	31,096	6,004
G1G3	11,955	6,436	20,944	2,234
G1G4	12,515	8,083	26,475	2,302
G1G5	11,706	5,340	19,761	2,486
G1G6	10,795	10,034	28,060	2,142
G2G3	17,017	9,391	38,111	4,339
G2G4	16,064	10,885	44,012	4,496
G2G5	14,281	12,569	40,065	3,707
G2G6	17,273	13,229	50,538	6,161
G3G4	16,028	6,760	32,787	9,405
G3G5	9,666	4,772	17,393	4,329
G3G6	12,802	5,907	19,762	3,895
G4G5	13,570	7,638	26,194	3,865
G4G6	12,027	6,325	26,241	2,715
G5G6	9,780	5,799	17,661	1,526

Tabla 49. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la primera semana

No se encuentran diferencias estadísticas en la comparación de las medias obtenidas para ΔE entre los diferentes grupos en la semana 1 de tratamiento, excepto entre los grupos G3G4 y G3G5, en donde encontramos relevancia estadística (0.015). Por tanto el grupo 4 presenta un blanqueamiento superior significativo con respecto al grupo 3 en la semana 1, al igual que el grupo 5 al compararlo con el 3.

Semana 2

Al comparar las diferentes medias, no existen diferencias significativas entre las medias obtenidas.

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	11,685	8,282	31,371	3,879
G1G3	16,611	10,580	34,861	2,762
G1G4	11,467	7,435	25,751	1,797
G1G5	13,288	5,009	22,430	5,446
G1G6	11,414	7,040	21,736	3,023
G2G3	20,754	11,228	42,013	4,818
G2G4	12,711	11,689	43,088	2,990
G2G5	15,651	8,702	33,191	5,251
G2G6	15,564	13,186	47,307	1,334
G3G4	20,300	10,917	37,735	2,524
G3G5	14,094	12,039	45,292	3,050
G3G6	16,402	9,820	39,503	6,004
G4G5	16,993	8,053	30,443	7,106
G4G6	12,51	6,705	26,47	4,24
G5G6	10,505	3,588	16,934	5,457

Tabla 50. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la segunda semana

Semana 3

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	13,165	9,248	30,159	2,851
G1G3	11,951	7,200	22,975	3,203
G1G4	12,269	9,529	34,245	2,900
G1G5	10,642	6,283	26,561	3,619
G1G6	11,951	7,200	22,975	3,203
G2G3	14,151	7,371	30,163	3,773
G2G4	13,210	8,570	34,840	5,997
G2G5	11,547	6,396	30,163	3,145
G2G6	14,338	5,846	20,527	4,773
G3G4	15,151	8,371	23,156	7,264
G3G5	10,535	5,614	20,485	2,631
G3G6	10,235	5,412	20,516	2,789
G4G5	13,565	6,466	25,122	5,633
G4G6	14,338	5,847	23,156	7,264
G5G6	10,535	5,613	20,485	2,631

Tabla 50. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la tercera semana

Existen diferencias significativas entre G3G4 y G3G6 obteniendo un valor más alto para el grupo 4.

Semana 4

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	9,893	3,748	18,014	4,952
G1G3	13,71	5,593	22,14	3,45
G1G4	11,082	5,079	18,369	4,164
G1G5	9,395	5,038	17,872	3,187
G1G6	11,555	6,750	21,418	1,723
G2G3	12,012	6,718	20,343	2,922
G2G4	13,570	8,849	35,196	2,665
G2G5	9,249	5,251	18,508	3,667
G2G6	13,112	9,785	37,787	3,262
G3G4	16,093	8,240	28,473	3,484
G3G5	9,914	4,662	18,192	4,456
G3G6	13,336	7,077	29,288	2,625
G4G5	13,624	6,164	22,928	6,288
G4G6	9,931	5,319	17,970	3,437
G5G6	10,719	5,477	22,700	3,673

Tabla 51. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la cuarta semana

La media más elevada se obtiene para ΔE de G3G4 pero no existen diferencias significativas entre los diferentes grupos.

Semana 5

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	10,520	7,133	27,566	3,056
G1G3	10,012	5,119	18,734	0,953
G1G4	9,692	5,878	22,669	2,735
G1G5	9,925	5,013	18,296	2,786
G1G6	7,893	2,777	12,749	3,865
G2G3	13,547	8,899	32,756	3,590
G2G4	12,107	11,138	42,039	2,555
G2G5	10,818	5,494	23,399	4,026
G2G6	11,017	3,253	33,466	2,253
G3G4	12,003	5,242	22,497	5,197
G3G5	10,624	3,562	15,248	3,785
G3G6	8,260	7,978	20,721	1,281
G4G5	12,640	6,102	23,880	2,200
G4G6	9,901	5,319	22,152	4,187
G5G6	9,592	2,757	13,365	5,021

Tabla 52. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la quinta semana

No existen diferencias significativas entre las diferentes media

Semana 6

	Media	Sd	Máximo	Mínimo
G1G2	8,540	5,764	21,146	2,098
G1G3	13,404	7,006	23,747	3,324
G1G4	11,507	8,141	27,801	2,396
G1G5	10,202	4,250	17,677	3,524
G1G6	12,788	6,194	20,487	2,427
G2G3	13,036	4,621	19,467	7,407
G2G4	12,599	11,034	38,718	1,794
G2G5	10,155	4,319	18,435	5,711
G2G6	12,298	10,971	36,076	1,342
G3G4	16,111	6,254	25,914	8,243
G3G5	8,926	5,263	18,246	2,047
G3G6	14,782	8,255	34,559	5,416
G4G5	13,324	5,058	21,903	7,114
G4G6	11,679	6,081	23,153	4,330
G5G6	12,490	4,097	20,089	7,292

Tabla 53. Valores estadísticos para ΔE entre grupos en la sexta semana

Sólo encontramos diferencias significativas entre G3G4 y G3G5 (0.008) y entre éste último y G3G6 (0.030). por tanto en la semana 6 sólo encontramos significación estadística para determinar que el grupo 4 consigue mayor variación de color con respecto al grupo 3.

En la semana 1, 3, 4 y 5, encontramos que el grupo 4 consigue la mayor variación de color.



Discusión

La existencia de dientes anteriores decolorados es visto como un problema estético importante. Debido a la creciente necesidad de tratamientos estéticos el blanqueamiento de dientes no vitales ha aumentado de forma importante en los últimos años. El perborato de sodio mezclado con solución salina es usado para el blanqueamiento interno debido a que esta combinación está asociado a un menor riesgo de resorción cervical (Rotsein 1993, Zimmerli 2010) y alteraciones estructurales en los tejidos dentales (Martin Biedma 2010) con un efecto semejante al del peróxido de hidrógeno al 30% (Zimmerli 2010) pero disminuyendo con respecto a este sus efectos secundarios. Dietchi (2006) recomienda la aplicación de bajas concentraciones de los agentes blanqueantes o bien perborato de sodio mezclado con agua destilada para prevenir los efectos secundarios.

El cambio de color dental puede ser evaluado mediante el uso de la guía Vita, pero este método es subjetivo y puede estar influenciado por diferentes factores, incluyendo las condiciones de iluminación ambiental, experiencia, edad y fatiga ocular del observador. De acuerdo con Johnston (1989) las variaciones en la luz de la habitación, el color de la piel, el maquillaje, color de la ropa, o la alineación dental puede afectar a la evaluación del color, lo que lo convierte en un método no recomendable

para la evaluación de los cambios de color. Así se ha descrito que, por ejemplo, en el rango de tonos disponibles en estas guías de color no cubre completamente el rango de color de los dientes naturales ni de los que han recibido un tratamiento blanqueador (Ishikawa-Nagai 2004).

A pesar de todas las limitaciones, el empleo de guías de color es un método rápido y accesible que ha sido utilizado en diferentes estudios (Carneiro 2009; Amato 2006; Carrasco 2007), pero pocas veces distintos observadores van a coincidir en la selección del color por lo que se recomienda el uso de métodos objetivos que realicen una medición más precisa y reproducible (Amengual 2005).

Entre los dispositivos que se emplean en Odontología para la medición del color, se encuentran los Colorímetros y los Espectofotómetros dentales, que ofrecen la posibilidad de captar el color y cuantificarlo de forma objetiva. La ventaja del empleo de estos instrumentos como medio de evaluación del color del diente en los estudios de blanqueamiento es la naturaleza objetiva en la que se realiza la medición, ya que elimina las variables humanas como fatiga ocular, edad, experiencia, y otros factores fisiológicos como el número de bastones y conos que existen en el ojo. A pesar de estas limitaciones, el ojo humano es muy eficiente detectando pequeñas diferencias de color entre 2 objetos (Joiner 2004).

Los Colorímetros permiten la medición objetiva del color dental, con la ayuda de los sistemas cromáticos internacionales (XYZ, CIE Lab , CIE LCh). En general, han proporcionado una buena reproducción del color de los dientes naturales, tanto ex vivo como in vivo. Permiten la incorporación de una fuente de luz para así no depender de las condiciones de luz ambientales, disponiendo de una sonda lo suficientemente pequeña para tomar el color de la superficie dental (Amengual 2005). Un gran número de estudios se realizan con este tipo de aparatología (Wiegand 2008; Tung 2002; Lenhard 1996), pero también presentan desventajas: están diseñados para la medición de superficies planas, sin embargo, los dientes no son planos y pueden presentar anomalías de superficie, los errores sistemáticos son difíciles de manejar y se puede esperar que afecte negativamente a la precisión de los instrumentos con independencia del grado de fiabilidad de éste o del control del medio ambiente (Joiner 2004) porque la fiabilidad de este sistema depende en gran medida de la constancia de la fuente de luz, y desajustes leves puede interferir con los resultados (Yui 2008).

Con respecto a los Espectofotómetros, la luz emitida dentro de una referencia dental y la luz reflejada es descompuesta en sus componentes espectrales por difracción y se compara con la luz incidente, por lo tanto los Espectofotómetros proporcionan una medición altamente precisa, eliminando factores ambientales reduciendo así el margen de error.

Evalúan la luz visible de un espectro de color de 400 a 700 nm, en 16 parámetros en intervalos de 20 nm y expresa el análisis como un valor numérico compuesto. El colorímetro sólo evalúa la luz reflejada emitida a través de 3 filtros: rojo, verde y azul (Horn 1998).

Horn en 1998, compara la evaluación del color dental mediante un método subjetivo realizado por cinco evaluadores humanos y aquel en el que se emplea un espectrofotómetro (SP78). Para ello realizan 5 lecturas consecutivas con el aparato del valor L^* que volverán a ser repetidas a los 14 días. Los resultados de la evaluación de los dientes eran comparados entre los evaluadores y luego entre ellos mismos a través del tiempo, y por último se compararon los resultados con los obtenidos con el SP78. Este instrumento reprodujo las lecturas de L^* dentro del error estándar de la máquina (≤ 1.0) en 16 de los 20 dientes empleados (80%). La comparación visual indica que sólo existe un acuerdo interevaluadores del 50% el primer día y del 65% el día 14. Los resultados de este estudio confirman que la evaluación humana de color de diente no es fiable y que el espectrofotómetro SP78 puede proporcionar un método más predecible. Pocas veces distintos observadores van a coincidir en la selección del color, por lo que se recomienda el empleo de métodos objetivos para realizar una medición más precisa y reproducible del color dental (Amengual 2005).

Por lo anterior y teniendo en cuenta los objetivos de este trabajo, la medición del cambio cromático se realizó instrumentalmente mediante el espectofotómetro Easyshade[®], eliminando la comparación subjetiva del color de los dientes existente al ser realizada por observadores (Horn 1998) obteniendo valores dentro del espacio CIELab lo que permite describir el color de las muestras.

Spasser en 1961, recomendó el uso de perborato de sodio mezclado con agua en el interior de la cámara pulpar, técnica modificada por Nutting y Poe en 1967, sustituyendo el agua por peróxido de hidrógeno al 30%, pensando en el resultado sinérgico de su combinación lo que permitiría conseguir unos mejores resultados (Carneiro 2009). Pero está en duda la eficacia y el daño de los materiales de blanqueamiento, especialmente en relación con la resorción cervical. Algunos estudios como el de Amato (2006) demuestra que la mezcla de perborato de sodio con peróxido de hidrógeno permite conseguir excelentes resultados estéticos pero causaba resorciones externas. Rotsein (1991) comprobó que el perborato de sodio mezclado con agua presentaba una eficacia similar que otros agentes blanqueantes, y prevenía o minimizaba la aparición de resorción cervical externa. Una explicación para este fenómeno es el proceso inflamatorio iniciado por la presencia de agentes blanqueantes en el ligamento periodontal. Este tejido inflamado contiene una variedad de células inmunocompetentes con predominación de

macrófagos, siendo éstos y los osteoclastos las células que juegan el papel principal en este proceso. Si se tiene en cuenta que la adhesión es paso de la función fagocítica de los macrófagos y los osteoclastos, el efecto inhibitorio del perborato de sodio sobre la adhesión de estas células, explicaría al menos en parte los infrecuentes casos de resorción cervical externa que puede ocurrir cuando el blanqueamiento es realizado exclusivamente con perborato de sodio (Jiménez Rubio 1998). Este posible efecto adverso es atribuido a la excesiva difusión del peróxido de hidrógeno dentro de los tejidos perirradiculares, aunque es proceso del que se desconoce el mecanismo exacto que lo causa (Lim 2004; Rotsein 1991; Yui 2008). Perrine y col (2000) compararon peróxido de carbamida al 10% con perborato de sodio mezclado con agua usados como agentes para blanqueamiento interno y observan que después de 12 días de blanqueamiento el 65% de los dientes tratados con peróxido de carbamida y el 67% de los dientes blanqueados con perborato presentaban aclaramiento de su color, pero sin que existan diferencias significativas entre ambos grupos. Ari y Ungör en 2002, compararon diferentes materiales de blanqueamiento, perborato de sodio en diferentes formas, mono, tri y tetrahidratado, mezclado cada uno de ellos con agua, y los tres tipos diferentes mezclados con peróxido de hidrógeno, sin que exista diferencias significativas entre los diferentes grupos, demostrando con los datos obtenidos que el perborato de sodio puede ser empleado mezclado con agua mejor que con peróxido de hidrógeno, ya que

concluyen que el blanqueamiento conseguido es semejante pero sí reducimos la posibilidad de efectos secundarios.

Los resultados obtenidos en la primera parte del trabajo en el que empleamos para el blanqueamiento interno, perborato de sodio químicamente puro mezclado con suero fisiológico, nos demuestran que se produce un cambio de coloración con un incremento de ΔE^* , que nos indica que se produce blanqueamiento, con un incremento significativo en luminosidad (ΔL^*), una disminución en la tonalidad rojiza ($-\Delta a^*$), y una disminución en el tono amarillo ($-\Delta b^*$). Los valores para b^* no muestran diferencias significativas entre los grupos test y control. Por tanto el blanqueamiento con perborato de sodio consigue que el diente sea menos amarillo, pero fundamentalmente menos rojo y más luminoso. Una a^* negativa equivale a un diente menos rojo y una b^* negativa indica que el diente se vuelve menos amarillo. El signo negativo en las coordenadas a^* y b^* , indican la tendencia a dientes más acromáticos y más desaturados (Gerlach 2002). El cambio en la coloración estaría en relación con la oxidación y la degradación de las moléculas cromógenas, ópticamente activas, ya que el procedimiento de blanqueamiento no provoca cambios estructurales en el tejido (Dahl 2003). En presencia de ácidos, aire caliente o agua, el perborato de sodio se descompone dando lugar a metaborato de sodio, peróxido de hidrógeno y oxígeno nascente. El peróxido de hidrógeno entonces forma radicales libres por el pH alcalino

(entre 9.5 y 10.8) de la solución, dando lugar a hidroperóxido e hidroxilo, radicales libres con electrones impares. Son electrofílicos e inestables, y atacarán la mayoría de las moléculas orgánicas para conseguir estabilidad, dando lugar a la oxidación-reducción que hace que las moléculas orgánicas pigmentadas se conviertan en simples y más claras (Yui 2008).

Debido a los numerosos productos usados, que presentan formulaciones muy diversas y los diferentes protocolos aplicados, la comparación de diferentes estudios clínicos en cuanto a la valoración de la eficacia del blanqueamiento es muy difícil.

Ishikawa-Nagai (2004), valoraron la respuesta a 2 tipos diferentes de blanqueamiento dental después de 2 semanas, encontrando que la mejora esperada estuvo significativamente relacionada con los cambios en b^* y en menor medida con los cambios en L^* y en a^* . En cambio, Wiegand y col (2008) indicaron que los cambios más pronunciados eran para L^* y b^* , aumentando con el blanqueamiento por tanto la luminosidad y disminuyendo el color amarillo de los dientes, y con mínimos cambios para a^* , lo que para estos autores es un indicativo de que este parámetro tiene una menor influencia en el cambio total de color. En la primera parte del trabajo en la que valoramos el cambio de color que se produce con el tratamiento interno con perborato reflejamos que los cambios observados son fundamentalmente el aumento de L^* y la disminución en a^* .

Estos resultados están de acuerdo parcialmente con los resultados obtenidos en el estudio de Russell en el que encuentra que se produce un aumento en la luminosidad (L^*) y pocas diferencias para los valores a^* y b^* , después del blanqueamiento. El brillo es la percepción visual de la luz, por tanto cuando los valores para L^* se aproximan a 100, la luminosidad del objeto aumenta (Kugel 2007). Nosotros obtenemos elevados valores para L^* , después del blanqueamiento interno, indicando que éste ha sido efectivo. Un estudio realizado por Goodson y col (2005), afirma que el blanqueamiento dental produce una reducción más considerable en el valor b^* que un aumento en la luminosidad L^* , lo que no coincide totalmente con los resultados obtenidos en nuestra evaluación. Zantner y col (2006), si aprecian el aumento en L^* y la reducción en las coordenadas a^* y b^* después del blanqueamiento dental. Gerlach y cols. observaron que los parámetros que definen la variación de color producida por el blanqueamiento sería una disminución en Δb^* y un aumento en ΔL^* y ΔE^* . Por tanto el cambio de color tras la aplicación del tratamiento varía según los diferentes estudios. Estas variaciones podrían ser debidas a los diferentes protocolos de blanqueamiento, diferentes pautas de aplicación del agente blanqueador y a la medición con diferentes dispositivos para la evaluación del color dental. El cambio de color valorado por ΔE , que mide la distancia euclídea en el espacio de color CIELAB puede ser usada para representar la magnitud percibida de las diferencias de color (CIE 2004).

En el siguiente apartado del estudio comparamos el cambio de color conseguido en dientes no vitales tratados con una combinación de un protocolo interno con perborato de sodio y blanqueamiento externo aplicado clínicamente, completado con un procedimiento ambulatorio mediante el uso de cubetas, con el blanqueamiento exclusivamente interno del otro grupo de muestras. En esta parte del estudio el objetivo es valorar si la combinación del blanqueamiento interno con externo consigue mejorar los resultados del tratamiento y el estudio mediante microscopía electrónica de la posible afectación los tejidos dentarios para poder conocer el efecto de los agentes blanqueantes sobre ellos.

Para el blanqueamiento externo (un tratamiento activado con luz combinado con técnica ambulatoria usando cubetas para el blanqueamiento) se emplearon 2 productos comerciales con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno (35% y 7%, respectivamente), elegidos con estos elevados porcentajes para poder analizar el blanqueamiento tan rápidamente como sea posible (Kugel 2007).

El tiempo de aplicación usado en el tratamiento combinado era aquel recomendado por el fabricante en ambos casos, lo que significa que las muestras del grupo I eran tratadas internamente con perborato de sodio un total de 672 horas y las muestras del grupo II eran tratadas durante

un total de 689 horas, internamente con perborato de sodio seguido por peróxido de hidrógeno en la técnica combinada.

En nuestros resultados encontramos para L^* en el grupo I como las medias van fluctuando no significativamente a lo largo del tratamiento, pero en el grupo II la media aumenta en la tercera semana, para disminuir posteriormente, y terminando ligeramente elevada en la última medición pero no de forma significativa. Entre ambos grupos aunque la media final era superior en el grupo II, no era claramente significativa con respecto al grupo I. Para a^* las medias disminuyen a partir de la segunda semana hasta la última de forma significativa en aquellas muestras tratadas con perborato únicamente en el grupo I, mientras que en otro grupo comienzan a disminuir desde la primera semana. En las medidas conseguidas para b^* , fueron disminuyendo en ambos grupos a lo largo de las semanas. Para estos dos valores vemos que conseguimos un mayor blanqueamiento significativo en el grupo 2.

En cuanto a ΔE la media de los valores para ambos grupos aumenta significativamente a lo largo de las semanas, siendo significativamente superiores la media para el grupo II con respecto al I. Por tanto con el blanqueamiento observamos que conseguimos obtener dientes menos amarillos, y menos rojos, como consecuencia de la degradación de las moléculas cromógenas, ópticamente activas, provocando el cambio

cromático observado. Podría asumirse que el esmalte externo es más susceptible al blanqueamiento que la dentina ya que los productos de blanqueamiento deberían de penetrar a través del esmalte para después perfundir por el interior del diente. La eficacia del blanqueamiento no está sólo en relación con el blanqueamiento de la superficie de los tejidos dentales duros si no también con el potencial de penetración en el interior del diente. Wiegand (2008) concluyó que técnicas externa e interna de blanqueamiento tienen el mismo efecto blanqueante sobre el esmalte y la dentina, por tanto el peróxido de hidrógeno, agente empleado en su estudio blanqueaba uniformemente independientemente de la concentración y de su aplicación sobre esmalte o sobre la dentina. Algunos autores creen que el cambio de color ocurre sólo en el esmalte y enmascara el color de la dentina que no se habría modificado, mientras que hay otros estudios de dientes blanqueados con peróxido de hidrógeno al 35% que informan de que el cambio de color ocurre tanto en esmalte como en dentina (Kugel 2007). McCaslin (1999) mostró que el blanqueamiento ambulatorio con peróxido de carbamida al 10% puede cambiar el color de la dentina, ya que el material de blanqueamiento penetra fácil y rápidamente a través del diente. Wiegand (2004) indica que el cambio de color podría ser debido en gran parte al cambio de la dentina. En nuestro estudio vemos como para ΔE se consigue un blanqueamiento mayor en las muestras en las que se combinan ambos

procedimientos, lo cual podría indicar que penetra blanqueante por el esmalte y la dentina sumando por tanto el efecto.

El ΔE fue aumentando significativamente desde la semana 1, con una media de 15.43 ± 6.57 en el grupo I y 21.93 ± 6.74 en el grupo II. Estos resultados obtenidos son superiores a los indicados por Yui (2008), este autor empleó premolares que fueron teñidos artificialmente con sangre humana. Una vez realizada la preparación biomecánica y posterior sellado de los conductos radiculares, los dientes fueron divididos en 4 grupos ($n=12$): c, grupo control sin aplicación de agente blanqueante; A1, con perborato de sodio mezclado con agua destilada; A2, con perborato de sodio y 10% de peróxido de carbamida; A3, con perborato de sodio y peróxido de carbamida al 35%. El material era aplicado en el interior de la cámara pulpar y recambiado cada 7 y 14 días. La evaluación del color se hizo a los 7, 14 y 21 días después del blanqueamiento, mediante el espectrofotómetro Easyshade[®] al igual que en nuestro trabajo. Determinó que el grupo A1 (12.94 ± 4.20) era estadísticamente diferente de los otros y que entre A2 (21.00 ± 3.22) y A3 (19.62 ± 1.35) no existían diferencias significativas, resultados que indican que la combinación del perborato con peróxido de carbamida o con peróxido de hidrógeno es más efectiva que la mezcla del perborato de sodio con agua destilada. Nosotros obtenemos para el grupo II (aquel en el que combinamos blanqueamiento interno y blanqueamiento externo) valores en ΔE más elevados que en el estudio de

Yui. Pero también vemos que los resultados que obtienen para la mezcla de perborato de sodio con agua son inferiores a los que nosotros observamos (15.43 ± 6.57), aunque debemos de tener en cuenta que el tiempo que empleamos en aquellos dientes tratados únicamente con blanqueamiento interno es mayor (4 semanas).

Delfino (2009) estudió la eficacia de diferentes agentes blanqueantes sobre el color de esmalte bovino teñidos con sangre, muestras que fueron divididos en 3 grupos de acuerdo a los agentes blanqueantes empleados: peróxido de carbamida al 10%, peróxido de carbamida al 16%, y peróxido de hidrógeno al 6,5%. La aplicación de los productos blanqueantes se realiza durante 21 días, valorando los cambios de color a los 7, 14 y 21 días, con espectrofotometría (Color Guide 45/0 BYK- Gardner). Los cambios de color producido por estos materiales eran similares entre los provocados por el peróxido de carbamida (ΔE PC 10%: 11.63 ± 3.34 ; PC 16%: 14.05 ± 3.61 ; PH: 9.37 ± 3.52) y eran superiores a los observados con el peróxido de hidrógeno. Es necesario tener en cuenta que el peróxido de carbamida es aplicado durante 8 horas mientras que el peróxido de hidrógeno sólo fue utilizado durante 30 segundos cada día, lo que indicaría la influencia del tiempo en el blanqueamiento. Los datos reflejados en este estudio son en todos los casos inferiores al ΔE que tenemos en nuestro trabajo. Debemos de tener en cuenta que el peróxido de hidrógeno que empleamos tiene una concentración superior (30%), de

forma que implicaría que los datos conseguidos sean superiores. Es conocido que el resultado del blanqueamiento está influenciado principalmente por la concentración del agente blanqueante, la capacidad de los agentes de reaccionar con las moléculas cromóferas, y la duración y frecuencia en que el producto está en contacto con estas moléculas (Dahl 2003).

Zekonis (2003) comparó los resultados obtenidos con blanqueamiento clínico con peróxido de hidrógeno (35%) y blanqueamiento ambulatorio con peróxido de carbamida al 10%. Para ello participaron 19 sujetos en los que se realizó el tratamiento en la arcada superior, en una hemiarcada se empleó PH y en la otra hemiarcada, el PC. El blanqueamiento con PC se realizó durante 14 noches consecutivas y el tratamiento clínico se realizó en 2 sesiones, con la aplicación del producto durante 10 minutos, repitiéndolo otras 2 veces más, hasta conseguir un tiempo de aplicación de 30 minutos en cada una de las sesiones. El estudio de color se realizó a las semanas 1, 2, 3, 6 y 12, mediante guía de color, comparación fotográfica, y colorimetría (Chroma Meter CR 321). A las 2 semanas la media para ΔE era de 12.32 ± 2.89 para el tratamiento ambulatorio y de 5.32 ± 1.93 para la aplicación clínica, datos que son inferiores al ΔE que obtenemos nosotros, aunque debemos de tener en cuenta que la apartología empleada es diferente, ya que Zekonis emplea para el estudio de color un colorímetro en vez de un espectofotómetro. Observa que con

14 días de tratamiento ambulatorio se consigue un mayor aclaramiento de color con respecto al tratamiento en clínica (60 minutos), diferencia que es significativa estadísticamente. Nosotros no comparamos la técnica ambulatoria con la clínica, sino el blanqueamiento interno con una técnica combinada que incluye blanqueamiento externo clínico y ambulatorio, consiguiendo mejores resultados con ésta última.

Otro aspecto a valorar en nuestro estudio son los cambios potenciales producidos por los agentes blanqueantes sobre el esmalte y la dentina, que en los dos primeros apartados de este trabajo estudiamos mediante microscopía electrónica.

El análisis mediante MEB de las muestras que realizamos nos indica que no hay alteraciones relevantes en la dentina o el esmalte de los dientes blanqueados exclusivamente con perborato de sodio en ambos trabajos, mientras que eran observadas microporosidades en algunas áreas del esmalte de aquellos dientes sometidos a blanqueamiento combinado. Estos resultados no pueden ser comparados directamente con los conseguidos por otros autores debido a que las técnicas de blanqueamiento y productos usados eran diferentes en cada caso. Es bastante relevante tener en cuenta que la mayoría de los estudios han evaluado agentes empleados para el blanqueamiento externo y sus

efectos sobre el esmalte, mientras que la información relacionada con los materiales empleados para blanqueamiento interno sobre los tejidos dentales es bastante más limitada, pero es importante tener en cuenta que los cambios estructurales del sustrato dentinario pueden tener un papel relevante en la realización de las restauraciones dentales. Existen estudios que demuestran efectos perjudiciales de los tratamientos de blanqueamiento en la adhesión a la dentina, pudiendo ser debido a las alteraciones morfológicas sufridas (Teixeira 2003, Attin 2004).

Cuando se realiza un blanqueamiento tienen lugar cambios iónicos en el esmalte, así los niveles de calcio y fósforo aumentan, disminuyendo el carbono y el oxígeno. Esta reducción es debida probablemente a que se pierden átomos de estos elementos en el proceso de blanqueamiento. La explicación en los aumentos de los niveles de calcio y fósforo, podría ser que debido a que son los componentes más numerosos y al eliminarse ciertos componentes superficiales el tejido se deteriora y se exponen más los átomos de estos 2 elementos, detectándose así en mayor cantidad. La posible implicación clínica sería que al exponerse el calcio y el fósforo se puede provocar más fácilmente la descalcificación de la superficie adamantina (Meneses, 2013).

Sasaki estudió el efecto causado por el uso de peróxido de carbamida

al 10% y peróxido de hidrógeno al 7.5% sobre la morfología de superficie y la microdureza del esmalte, para ello se aplicaron los agentes de blanqueamiento durante 21 días con un tiempo de 1 hora diaria. El estudio por MEB se realizó a los 14 días de finalizado el tratamiento, e indicó la presencia de microalteraciones como erosiones en la superficie del esmalte pero sin que se produzcan alteraciones en la microdureza.

La presencia de erosiones y porosidades en el esmalte está relacionada fundamentalmente con el oxígeno y la urea formados de la oxidación de los blanqueantes (Hegedüs 1999). La urea tiene la propiedad de desnaturalizar las proteínas presentes en la porción orgánica de las estructuras dentales y capacidad de penetrar a través del esmalte pudiendo afectar a la superficie y a la porción interprismática del esmalte, además de aumentar su permeabilidad. A esto añadimos que el oxígeno liberado de la descomposición de los agentes blanqueantes incrementa la porosidad de los tejidos, fundamentalmente de la dentina (Hegedüs 1999). Los radicales libres generados no son específicos y pueden reaccionar con las estructuras orgánicas del diente. Otro aspecto relevante es el pH de los productos, así las propiedades ácidas de estos materiales y sus componentes podrían provocar alteraciones en el contenido mineral del esmalte y dentina (Rodrigues 2001). Suleiman en 2004 concluye al estudiar mediante MEB que el uso de peróxido de hidrógeno a elevada

concentración (35%) no provoca defectos topográficos en dentina y esmalte, lo que podría indicar que las erosiones u otras alteraciones que se relatan en otros artículos podrían no ser debidos al blanqueamiento en sí, si no al pH de la formulación empleada (Attin 2005).

El efecto de los agentes blanqueantes está directamente relacionado al tiempo de exposición y a la concentración, porque un aumento de éstos harían que el proceso de oxidación sea más fuerte y por tanto el efecto y las complicaciones serán mayores (Oskoe 2010). La complicación más frecuente es la disminución de la dureza debido a la oxidación de los componentes orgánicos e inorgánicos y la disolución de la matriz del esmalte, lo que lleva a la pérdida de su contenido mineral (Berger 2010). Rotsein (1996) estudió los cambios químicos de los dientes después del blanqueamiento, introduciendo las muestras durante 7 días en una solución de perborato de sodio mezclado con agua y eran analizadas mediante espectrometría, encontrando una disminución en los niveles de sulfuro. La reducción en sulfuro es un marcador de proteoglicanos presentes en la matriz de los tejidos dentales duros, indicando daño en los componentes orgánicos de la matriz. Los niveles de calcio y fósforo están conservados, lo que indicaría que los componentes inorgánicos no están afectados.

Zalkind demostró que la mayoría de los agentes blanqueantes pueden

producir cambios morfológicos sobre la superficie del esmalte. Fu en 2007, encuentra en sus resultados que en el tratamiento con peróxido de carbamida se observan alteraciones nanomorfológicas en la superficie del esmalte, pero si el tiempo de exposición era superior, entonces se observaban cambios micromorfológicos. En nuestro estudio el análisis de las muestras nos indican que no existen alteraciones en aquellas tratadas con perborato de sodio, pero si se observan alteraciones en algunas zonas en el esmalte de los dientes tratados con la técnica combinada. Oskoe en 2010, observa la destrucción de la integridad de los prismas del esmalte y erosiones en la superficie en muestras tratadas con peróxido de carbamida al 35% durante 30 minutos al día a lo largo de 3 semanas, pero sin cambios en la microdureza, lo que hace pensar que el corto periodo de tiempo en el que se empleó el producto es el factor primordial para que no se alteren las propiedades del esmalte, pudiendo ser por tanto más importante el tiempo de aplicación que la concentración.

El peróxido de hidrógeno se descompone cuando se encuentra con sustancias con las que puede reaccionar, produciendo radicales libres. Si el proceso de blanqueo continua más allá del punto de saturación, en el transcurso de la descomposición, el peróxido de hidrógeno también interactúa con componentes orgánicos de los dientes, como proteínas y lípidos, lo que da lugar a su eliminación (Hegedus 1992), ocasionando

superficies rugosas. Además el peróxido de hidrógeno también disuelve los componentes inorgánicos del esmalte al penetrar en las regiones intra e interprismática. Un aumento de la exposición al peróxido lleva a un aumento de la penetración en el esmalte, pudiendo provocar mayores alteraciones de superficie (Bitter 1998; Lopes 2002).

Gopinath en 2013, realiza blanqueamiento con peróxido de hidrógeno al 35% y 10%, aplicado durante 30 minutos, con renovación cada 10 minutos, en dos semanas consecutivas. 2 grupos fueron realizados así y en otros 2 grupos fue aplicado extracto de patata dulce, como antioxidante enzimático. Con ambas concentraciones mediante MEB, estos autores observan rugosidad en la superficie del esmalte, con pérdida de la porción aprismática y presencia de cracks y cráteres, pero en aquellas muestras en las que se aplicó el antioxidante las irregularidades de superficie eran menores y con ausencia de cracks. La eficacia de los agentes blanqueantes está directamente relacionada con el tiempo de exposición y la concentración de los ingredientes, si éstos aumentan, el proceso oxidativo es mayor, pero también las complicaciones (Bitter 1998), aunque estos autores afirman que la aplicación del agente antioxidante disminuye la acción negativa sobre el esmalte de los radicales libres, permitiendo conseguir una superficie más lisa y por tanto disminuir la posibilidad de posteriores depósitos de pigmentos.

Miranda (2005) observa alteraciones de diferentes tipos en la morfología del esmalte después de la aplicación de peróxido de carbamida y de hidrógeno al 35%, lo que incluye la remoción parcial de la capa aprismática, aumento en la profundidad de las depresiones del esmalte, aumento de la porosidad y exposición de prismas de esmalte. Estos autores encuentran también irregularidades en la superficie del esmalte no tratado, lo que indicaría que el blanqueamiento potencia los mismos, debido al proceso inicial de desmineralización. Rotsein (1992), demostró pérdida de calcio en dientes expuestos a peróxido, aumento de la solubilidad de los tejidos duros y menor resistencia después de los procedimientos de blanqueamiento, posiblemente debido a la modificación de la proporción orgánica e inorgánica de los tejidos. Además la mayoría de los blanqueantes son ácidos, lo que no es favorable para los tejidos.

Bastling (2007) no encuentra alteraciones en la superficie de dientes tratados con peróxido de carbamida al 10% evaluados mediante MEB, al igual que Götz (2007), que tampoco observa cambios en la superficie del esmalte y la dentina después del empleo de peróxido de hidrógeno al 11.7 % y 14% durante 45 horas.

Justino en 2004, encontró que las alteraciones producidas por el peróxido de carbamida al 10% sobre la superficie del esmalte eran más marcadas en aquellas muestras in vitro que in vivo, debido a que la

presencia de saliva podría prevenir el efecto desmineralizante del tratamiento. El uso de fluor, adecuadas medidas de higiene oral, y particularmente la saliva mejoran las características de superficie de las estructuras dentales a través del depósito de cristales de fluoruro de calcio, además de mantener el equilibrio entre desmineralización y remineralización (Sasaki 2009). Parece ser relevante el efecto del pH sobre la descalcificación del esmalte, Ito (2011) demostró que la aplicación de un agente blanqueante más alcalino provoca erosiones menos pronunciadas que otros productos con mayor acidez, situación que en clínica está protegida por el efecto de lavado y buffer de la saliva. En pacientes con secreción normal de saliva se produciría una recalcificación del esmalte afectado por el tratamiento por lo que no existirían efectos adversos.

En cuanto a la dentina encontramos el estudio de Amaral (2008) en el que se comparan los efectos de diferentes productos blanqueantes. Para ello elaboran 8 grupos, siendo los 3 primeros los que son blanqueados internamente (G1: perborato de sodio; G2: Peróxido de carbamida 37%; G3: peróxido de hidrógeno al 35%) y la combinación de blanqueamiento interno clínico y ambulatorio (G4: Peróxido de hidrógeno + bolita de algodón; G5: Peróxido de hidrógeno + perborato de sodio; G6: peróxido de hidrógeno + peróxido de carbamida; G7: peróxido de hidrógeno + peróxido de hidrógeno; G8: grupo control). En los resultados de MEB

observaron superficies de dentina semejantes en los grupos 1, 3, 6 y 7 con más túbulos dentinarios abiertos que en los otros grupos. En nuestro trabajo en el que hemos empleado perborato de sodio como producto blanqueante, no observamos alteraciones en la dentina.

Vieira en 2012 estudia la superficie de la dentina tratada con diferentes blanqueantes. Los hallazgos que encuentran a través de MEB en la superficie de dentina sometida a blanqueamiento interno con diferentes productos son fundamentalmente la presencia de cracks, especialmente en los especímenes que son tratados con peróxido de hidrógeno al 38%, y fisuras en aquellas muestras en las que se aplicó una mezcla de perborato de sodio y 20% de peróxido de hidrógeno. Esto puede ser explicado por la presencia de radicales OH^- , que son los responsables del efecto blanqueante, y que, debido a su potencial de oxidación actúan en la dentina inter y peritubular rompiendo las cadenas de polipéptidos del tejido conectivo, particularmente colágeno y ácido hialurónico. En nuestro trabajo no encontramos cambios en la dentina cameral, ni signos de desmineralización, ni microporosidades, ni fibras de colágeno visibles.

Santos estudió el efecto de diferentes agentes blanqueantes sobre la superficie de la dentina, para ello los productos empleados son perborato de sodio mezclado con agua, perborato de sodio con gel de clorhexidina al 2%, perborato de sodio con peróxido de hidrógeno al 30%, peróxido de

hidrógeno al 30% y peróxido de carbamida al 37%, utilizando 2 grupos de control para comparar, un grupo con agua destilada y otro con gel de clorhexidina al 2%. Este autor afirma que todos los grupos, excepto los grupos control y el grupo tratado con perborato de sodio y agua, presentan alteraciones en la superficie de la dentina, con túbulos dentinarios más anchos y desmineralización de la dentina intratubular. El peróxido de hidrógeno provoca alteraciones en la estructura química de la dentina y la reducción de la proporción Ca/P (Chng 2002) lo que podría ser la causa de las alteraciones observadas. Además el peróxido de hidrógeno aumenta la solubilidad de la dentina y provoca oxidación de las proteínas de la matriz orgánica, lo que puede explicar la apariencia de la superficie que observan en este estudio. Habría que tener en cuenta la acidez del peróxido de hidrógeno, además de la posibilidad de resorción cervical, lo que hace que algunos autores no recomienden el uso del peróxido de hidrógeno a elevadas concentraciones para su uso en blanqueamiento interno (Attin 2004; Lai 2003). Los especímenes tratados con perborato de sodio mezclado con agua no presentan alteraciones de superficie en dentina al igual que en nuestro estudio, constatando estos autores que la composición química y la solubilidad de la dentina permanece inalterada, probablemente debido a la menor cantidad de peróxido de hidrógeno liberado en esta formulación.

En el último apartado de este trabajo, valoramos la eficacia de diferentes granulometrías para el perborato de sodio, sometiéndolo a un proceso de pulido mediante el empleo de un molino de bolas, consiguiendo así 6 grupos homogéneos en cuanto al tamaño de las partículas obtenidas. Los datos obtenidos nos indican en la evaluación con respecto al tiempo, que para a^* se consigue una disminución significativa desde basal hasta la semana 5 en todos los grupos, excepto en el grupo 1 en el que los valores siguen disminuyendo hasta la semana 6; para b^* se obtiene blanqueamiento significativo hasta la semana 5 en donde se alcanza el menor valor; y para L^* se produce aumento significativo de los valores en todos los grupos.

En la comparación entre los diferentes grupos para ΔE no existen diferencias significativas excepto en el grupo 4 con respecto a los grupos 3, 5 y 6, lo que implicaría que el triturado del perborato de sodio durante más de 60 minutos no supondría una mejora en los resultados.

No podemos hacer una comparación directa de los resultados que obtenemos porque no encontramos artículos en la bibliografía que valoren la posibilidad de disminuir el tamaño de las partículas para así conseguir una mayor superficie de contacto, y por tanto una mayor liberación de oxígeno. Si existe bibliografía que compara la eficacia de diferentes tipos de perborato, ya que diferentes formas del perborato presentan distintos

contenidos de oxígeno que podría ser considerado como una medida del potencial efecto blanqueante. Weiger en 1994 comparó los efectos de varios tipos de perborato sódico, mono, tri o tetrahidratado usado para blanqueamiento intracoronario, empleándolos mezclados con peróxido de hidrógeno al 30%, exceptuando el tetrahidratado, que contiene menor cantidad de oxígeno, que es además preparado con agua y verifica que el uso de las diferentes formas de este producto dan lugar a resultados estéticos similares. La combinación del tetrahidratado con peróxido de hidrógeno o agua no presentaban diferencias.

Ari y Üngör (2002) no hallaron diferencias significativas en los resultados con los tres tipos de perborato usados con agua o peróxido de hidrógeno al 30%. De todas formas se recomienda la mezcla del perborato con agua y no con peróxido de hidrógeno para minimizar la posible resorción cervical (Weiger 1994, Rotsein 1991). El perborato de sodio monohidratado contiene 16% de oxígeno activo, pero una vez mezclado con agua o con peróxido de hidrógeno se solidifica después de 1 hora y deja de ser eficaz. El trihidratado contiene un 11,8% de oxígeno activo pero se inactiva en un día. Solamente el perborato de sodio tetrahidratado se mantiene activo durante 7 días, aunque es el que menor contenido presenta de oxígeno activo (10,4%), lo que supondría que un mayor contenido de oxígeno compensaría el menor tiempo de tratamiento (Weiger 1994) al igual que podríamos suponer en nuestro estudio que un

mayor pulido de las partículas permitiría la aplicación de una mayor cantidad de perborato y por tanto una mayor eficiencia en los resultados, sin embargo sólo observamos diferencias en el grupo 3, lo que nos indicaría que el aumento del triturado por más tiempo, para conseguir partículas de menor tamaño, no sería necesario. De todas formas no es posible hacer un comparación entre ambos trabajos, principalmente porque compara diferentes tipos de perborato y no diferentes tipos de granulometrías, además de que los intervalos de tratamiento son diferentes.

Üngör en 2002 indican que aunque los 3 tipos de perborato de sodio están disponibles, el tetrahidratado es el más empleado para la técnica ambulatoria, gracias a su estabilidad a lo largo del tiempo. Este autor compara los 3 tipos y sus resultados muestran que aunque el mohidratado tiene el mayor contenido en oxígeno activo, no hay diferencias significativas entre ellos, al igual que ocurre en nuestro estudio en el que no hallamos diferencias significativas entre los grupos exceptuando el grupo 3, triturado durante 30 minutos y con un tamaño de partícula de 68,80 μm , con respecto a los grupos de mayor triturado.



Conclusiones

En este estudio hemos valorado el empleo de perborato de sodio químicamente puro como agente empleado para el tratamiento de blanqueamiento de dientes desvitalizados, estudiando para ello su eficacia mediante las coordenadas cromáticas CIELab y su seguridad con respecto a los tejidos duros dentales y la posible influencia del tamaño de partícula en su eficacia.

A continuación se exponen las conclusiones principales derivadas del presente trabajo de investigación.

! El estudio del proceso de blanqueamiento desde el punto de vista colorimétrico, nos permite afirmar que se produce una respuesta de los dientes al agente blanqueante. Los dientes sufren una desaturación y un aumento en su luminosidad de forma perceptible.

! El empleo de perborato de sodio químicamente puro no provoca alteraciones microscópicas en los tejidos dentarios, la superficie del esmalte es suave con una morfología normal, no observándose prismas de esmalte o cualquier tipo de alteración en su superficie. La superficie dentinaria no presenta signos de desmineralización, ni microporosidades ni fibras de colágeno visibles, lo que indica que no hay afectación de este tejido.

! El tratamiento combinado de peróxido de hidrógeno sobre la superficie externa de los dientes permite la obtención de una variación mayor de color que el empleo único de perborato de sodio colocado en el interior de la cámara pulpar.

! El estudio microscópico sobre la superficie del esmalte en dientes tratados con una aplicación combinada internamente de perborato y externamente de peróxido de hidrógeno, muestra la existencia de microporosidades en algunas áreas pero sin observar modelos de patrón erosivos. No hay alteración en la dentina de la cámara pulpar.

! Al observar los diferentes grupos de triturado de perborato se contempla como se produce una disminución en las coordenadas a^* y b^* de forma significativa hasta una semana después de finalizado el blanqueamiento, y un aumento en L^* de la misma manera para todos los grupos.

! El triturado del perborato de sodio químicamente puro por encima de los 60 minutos no mejora los resultados obtenidos en el blanqueamiento.



Bibliografía

Al-Qunalan TA. The effect of whitening agents on caries susceptibility of human enamel. Oper Dent 2005; 30: 265-270.

Amaral C, Jorge A, Veloso K, Erhardt M, Arias V, Rodrigues JA. The effect of in-office in combination with intracoronal bleaching on enamel and dentin bond strength and dentin morphology. J Contemp Dent Pract 2008; 9(5): 17-24.

Amato Massimo, Scaravilli Maria Serena, Farella Mauro, Riccitello Francesco. Bleaching teeth treated endodontically: Long-term evaluation of a case series. J Endod 2006; 32(4): 376- 378.

Amengual Lorenzo J, Forner Navarro L, Llena Puy MC. Asociación Valenciana de blanqueamiento Dental, editora " Manual Práctico de Blanqueamiento Dental". Valencia: Editorial; 2002.

Amengual Lorenzo J, Llena Puy MC, Forner Navarro L. Evolución de los criterios estéticos dento-faciales. Revista Asociación Universitaria Valenciana de Blanqueamiento Dental 2007; 3:15-28.

Amengual Lorenzo José, Llena Puy, M^a Carmen, Forner Navarro Leopoldo.

Reproductibilidad en la medición del color "in vitro" e "in vivo" mediante colorímetros específicos para uso dental. RCOE 2005;10(3):263-267.

Amengual Lorenzo. Cambios de pH provocadas en el medio externo por el peróxido de hidrógeno en el blanqueamiento dental interno. Odontología Clínica 2009; 2(1):E1 5-9.

Andreasen FM. Transient apical breakdown and its relation to colour and sensibility changes after luxation injuries to teeth. Endod Dent Traumatol 1986; 2: 9-19.

Ari H, Üngör M. In vitro comparasion of different types of sodium perborate used for intracoronal bleaching of discoloured teeth. Int Endod J 2002; 35: 433-436.

Attin T, Kielbassa AM, Shwanenbergg M, Helklwig E. Effect of fluoride treatment on remineralization of bleached enamel. J Oral Rehabil 1997; 24(4): 282-286.

Attin T, Paqué F, Ajam F, Lennon Á M: Review of the current status of tooth whitening with the walking bleach technique. Int Endod J 2003; 36: 313-329.

Attin T, Hannig C, Wiegand A, Attin R. Effect of bleaching on restorative

materials and restorations-a systematic review. Dent Mater 2004; 20(9): 852-61.

Attin T, Vollmer D, Wiegand A, Attin R, Betke H. Subsurface microhardness of enamel and dentin after different external bleaching procedures. Am J Dent 2005; 18(1): 8-12.

Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V, La determinación del color del diente, Quintessenz Zahntechnik 2004; 7:726-740.

Bating RT, Rodrigues AL Jr, Serra MC. The effects of seven carbamide peroxide bleaching agents on enamel microhardness over time. J Am Dent Assoc 2003; 134: 1335-1342.

Bastling RT, Rodrigues AL, Serra MC. Micromorphology and surface roughness of sound and demineralized enamel and dentin bleached with a 10% carbamide peroxide bleaching agent. Am J Dent 2007; 20(2): 97-102.

Belli S, Zhang Y, Pereira PNR, Ozer F, Pashley DH. Regional bond strengths of adhesive resins to pulp chamber dentine. J Endod 2001; 27(8): 527-32.

Belvedere P. Igualación de un diente natural para elaborar una restauración cerámica. 2005. Disponible en:

<http://www.kerrdental.com/images/products/demetronShadeLightLED1/pdf/backToTheBasics.pdf>.

Berger SB, Cavalli V, Ambrosano GM, Giannini M. Changes in surface morphology and mineralization level of human enamel following in office bleaching with 35% hydrogen peroxide and light irradiation. Gen Dent; 2010; 58(2): 74-9.

Bitter NC. A scanning electron microscope study of the long-term effect of bleaching agents on the enamel surface in vivo. Gen Dent 1998; 46(1): 84-8.

Bowles WH, Lancaster LS, Wagner MJ. Reflectance and texture changes in bleached composite resin surfaces. J Esthet Dent 1996; 8: 229-33.

Budavari S, O'Neil M.J, Smith A, Heckelman PE. The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. Merck and Co Inc, Rahway, NJ 1989.

Camps J, de Franceschi H, Idir F, Roland C, About I. Time-course diffusion of hydrogen peroxide through human dentin: Clinical significance for young tooth internal bleaching. *J Endod* 2007; 33(4): 455-9.

Carlsson J. Salivary peroxidase: an important part of our defence against oxygen toxicity. *J Oral Pathol* 1987; 16: 412-416.

Carrasco LD, Guerisoli DMZ, Rocha MJA, Pécora JD, Fröner IC. Efficacy of intracoronar bleaching techniques with different light activation sources. *Int Endod J* 2007; 40: 204-208.

Carrasco LD, Guerisoli DMZ, Pécora JD, Fröner IC. Evaluation of dentin permeability after light activated internal dental bleaching. *Dent Traumatol* 2007; 23: 30-34.

Carrasco-Guerisoli LD, Shiavoni RJS, Barroso JM, Guerisoli DMZ, Pécora JD, Fröner IC. Effect of different bleaching systems on the ultrastructure of bovine dentin. *Dent Traumatol* 2009;25:176-180.

Cavalli V, Reis AF, Giannini M, Ambrosano GM. The effect of elapsed time following bleaching on bond strength of resin composite. *Oper Dent* 2001; 26(6): 597-602.

Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments

and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent 2010; 38 (2):e2-e16.

Chng HK, Palamara JE, Messer HH. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. J Endod 2002; 28(2): 62-67.

Chung HK, Palamara JEA, Messer HH. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on mechanical properties of human dentin. J Endod 2002; 28:62-67.

Chng HK, Palamara JE, Messer HH. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. J Endod 2002; 28(2):63-67.

CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Colorimetry- technical report. CIE Pub. No. 15, 3rd de. Vienna: Bureau Central de la CIE 2004.

Corbalán M, Millán MS, Yzuel MJ. Color image acquisition by chargecoupled device cameras in polychromatic pattern recognition. Opt Eng 1996; 35: 754-760.

Costas FL, Wong M. Intracoronar isolating barriers: Effect of location on

root leakage and effectiveness of bleaching agents. J Endod 1991; 8: 365-68.

Curtis JW, Dickinson GL and Downey MC, Russell CM, Haywood VB, Myers ML, Johnson MH. Assessing the effects of 10 percent carbamide peroxide on oral soft tissues. J Am Dent Assoc 1996; 127: 1218–1223.

Dahlstrom SW, Heithersay GS, Bridges TE. Hydroxyl radical activity in thermo-catalytically bleached root- filled teeth. Endod Dent Traumatol. 1997; 13(3): 119- 25.

Dahl JE., Pallesen U. Tooth-Bleaching- A critical review of the biological aspects. Crit Rev Oral Biol Med 2003; 14(4): 292-304.

Delfino CS, Chinelatti MA, Carrasco-Guerisoli LD, Batista AR, Fröner IC, Palma-Dibb RG. Effectiveness of home bleaching agents in discolored teeth and influence on enamel microhardness. J. Appl. Oral Sci 2009; 17(4): 284-8.

Demarco FF, Freitas JM, Silva MP, Justion LM. Microleakage in endodontically treated teeth: influence of calcium hydroxide dressing following bleaching. Int Endod J 2001 Oct; 34(7): 495–500.

Devigus A. La medición digital del color en odontología. Quintessence (ed

esp) 2004; 17(5): 281-286.

Dietschi D. Nonvital bleaching: general considerations and report of two failure cases. Eur J Esthet Dent 2006; 1: 52-61.

Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. J Prosthet Dent 1997; 7: 464-70.

Ernst CP, Marroquin BB, Willershausen-Zonnchen B. effects of hydrogen peroxide-containing bleaching agents on the morphology of human enamel. Quintessence Int 1996; 27: 53-56.

Fasanaro TS. Bleaching teeth: history, chemicals and methods used for common tooth discoloration. J Esthet Dent 1992; 4(3): 71-78.

Feiz A, Khouroushi M, Gheisarifar M. Bond Strength of composite resin to bleached dentin: Effect of using antioxidant versus buffering agent. J Dent 2011; 8 (2): 60-66.

Forner Navarro L, Amengual Lorenzo J, Llena Puy MC. Etiología de las discoloraciones dentales. Revista de Blanqueamiento Dental 2002-2004; 1(1): 11-15.

Fu B, Hoth-Hannig W, Hannig M. Effects of dental bleaching on micro and

nano morphological alteration of the enamel surface. Am J Dent 2007; 20(1): 35-40.

Fuss Z, Szajkis S, Tagger M. Tubular permeability to calcium hydroxide and to bleaching agents. J Endod 1989; 15: 362– 4.

Gerlach RW, Barker ML, Sagel PA. Objective and subjective whitening response of two self-directed bleaching systems. Am J Dent. 2002; 15: 7A- 12A.

Gopinath S, James V, Vidhya S, Karthikeyan K, Kavitha S, Mahalaxmi. Effect of bleaching with two different concentrations of hydrogen peroxide containing sweet potato extract as an additive on human enamel: An in vitro spectrophotometric and scanning electron microscopy analysis. J Conserv Dent 2013; 16(1): 45-49.

Gökay O, Müjdecı A, Algin E. In vitro peroxide penetration into the pulp chamber from newer bleaching products. Int Endod J 2005; 38: 516-520.

Goodkind RJ, Keenan K, Schwabacher WB. Use of a fiber- optic colorimeter for an in vivo color measurement of 2830 anterior teeth. J Prosthetic Dentistry 1987;58: 535—542.

Goodson JM, Tavares M, Sweeney M, Stultz J, Newman M, Smith V, et al. Tooth whitening: tooth color changes following treatment by peroxide and light. J Clin Dent 2005; 16: 78-82.

Götz H, Duschner H, White DJ, Klukowska MA. Effects of elevated hydrogen peroxide strip bleaching on surface and subsurface enamel including subsurface histomorphology, micro-chemical composition and fluorescence changes. J Dent 2007; 35(6): 457-66.

Hafez R, Ahmed D, Yousry, El-Badrawy W, El-Mowafye. Effect of in office bleaching on color and surface roughness of composite restoratives. Eur J Dent 2010; 4(2): 118–127.

Haywood VB, Heymann HO. Nightguard vital bleaching. Quintessence Int 1989; 20: 173–176.

Haywood VB. Nighthguard vital bleaching how safe is it?. Quintessence Int 1991; 22: 515-523.

Haywood VB. History, safety and effectiveness of current bleaching techniques and applications of the nightguard vital bleaching techniques.

Quintessence Int 1992; 23: 471-488.

Haywood VB, Leonard RH, Dickenson GL. Efficacy of six months nightguard vital bleaching of tetracycline-stained teeth. J Esthet Dent 1997; 9(1): 13-19.

Haywood VB. Nighthguard vital bleaching of tetracycline stains teeth 54 months posttreatment. J Esthet Dent 1999; 11(5): 265-277.

Haywood VB, Caughman WF, Frazier KB, Myers ML. Tray delivery of potassium nitrate-fluoride to reduce bleaching sensitivity. Quintessence Int 2001; 32: 105-109.

Hegedüs C, Bistey T, Flóra-Nagy E, Keszthelyi G, Jenei A. An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. J Dent 1999; 27(7): 509-15.

Heling I, Parson A and Rotstein I. Effect of bleaching agents on dentin permeability to Streptococcus faecalis. J Endod 1995; 21(11): 540-542.

Heyman HO. Introducción. Tratamiento no restaurador de dientes teñidos: Informes de un Simposium Internacional. Archivos de Odontoestomatología 1998; 14(1): 43-44.

Hita E. El mundo del color desde lo perceptivo y artístico a lo científico. (edición). Granada ; Editorial de la Universidad de Granada; 2001.

Ho S, Goering AC. An in vitro comparison of different bleaching agents in the discolored tooth. J Endod 1989; 15: 106-11.

Horn DJ, Hicks L, Bulan-Brady J. Effect of smear layer removal on bleaching of human teeth in vitro. J Endod 1998; 24: 791-5.

Horn DJ, Bulan-Brady J, M. Lamar Hicks. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. J Endod 1998; 12: 786-90.

Hosoya N, Cox C F, Arai T, Nakamura J. The walking bleach procedure: an in vitro study to measure microleakage of five temporary sealing agents. J Endod 2000; 26(12): 716-718.

Hunsaker KJ, Christensen GJ, Christensen RP. Tooth bleaching chemicals-influence on teeth and restorations. J Dent Res 1990; 69: 303 (Abstract nº 1558).

Ishikawa-Nagai S, Terui T, Ishibashi K, Weber HP, Ferguson M. Prediction

of optical efficacy of vital tooth bleaching using regression analysis. *Color Res Appl* 2004a; 5: 390-394.

Ishikawa-Nagai S, Terui T, Ishibashi K, Weber HP, Ferguson M. Comparison of effectiveness of two 10% carbamide peroxide tooth-bleaching systems using spectrophotometric measurements. *J Esthet Restor Dent* 2004b; 16: 368-376.

Ito Y, Momoi Y. Bleaching using 30% hydrogen peroxide and sodium hydrogen carbonate. *Dent Mater J* 2011; 30(2): 193-198.

Jiménez-Rubio Alicia, Segura Juan J. The effect of the bleaching agent sodium perborate on macrophage adhesion in vitro: implications in external cervical root resorption. *J Endod* 1998; 4: 229-232.

Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 1989; 68: 819-22.

Joiner A. The bleaching of teeth: A review of the literature. *J Dent* 2006; 34: 412-419.

Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004; 32: 3-12.

Justino LM, Tames DR, Demarco FF. In situ and in vitro effects of bleaching with carbamide peroxide on human enamel. *Oper Dent* 2004; 29(2): 219-25.

Kawamoto K, Tsujimoto Y. Effects of the hydroxyl radical and hydrogen peroxide on tooth bleaching. *J Endod* 2004; 30: 45-50.

Kihn PW. A clinical evaluation of 10 percent vs 15 percent carbamide peroxide tooth-whitening agents. *J Am Dent Assoc* 1999; 131(10): 1478-1484.

King KA, de Rijk WG. Variations of L* a* b* values among Vitapan classical shade guides. *J Prosthodont* 2007; 16: 352-6.

Kinomoto Y, Cames DI, Ebisu S. Cytotoxicity of intra-canal bleaching agents on periodontal ligament cells in vitro. *J Endod*. 2001; 27(9): 574-7.

Kugel G, Petkevis J, Gurgan S, Doherty E. Separate whitening effects on enamel and dentin after fourteen days. *J Endod* 2007; 1: 34-37.

Kum KY, Lim KR, Lee CY, Park KH, Safavi KE, Fouad AF, Spangberg LS. Effects of removing residual peroxide and other oxygen radical son the

shear bond strength and failure modes at resin-tooth bleaching. *Am J Dent* 2004; 17 (4): 267-70.

Lai YL, Yang ML, LEE SY. Microhardness and color changes of human dentin with repeated intracoronal bleaching. *Oper Dent* 2003; 28(6): 786-92.

Lai SCN, Mak YF, Cheung GSP, Osorio R, Toledano M, Carvalho RM, Tay FR, Pashley DH. Reversal of compromised bonding in bleached dentin. *J Dent Res* 2001; 80(10): 1919-24.

Lee GP, Lee MY, Lum SO, Poh RS, Lim KC. Extra-radicular diffusion of hydrogen peroxide and pH changes associated with intracoronal bleaching of discoloured teeth using different bleaching agents. *Int Endod J* 2004 Jul; 37(7): 500-6.

Lenhard M. Assessing tooth color change after repeated bleaching in vitro with a 10 percent carbamide peroxide gel. *J Am Dent Assoc* 1996; 127: 1618-1624.

Leonard RH Jr, Haywood VB, Phillips C. Risk factors for developing tooth sensitivity and gingival irritation associated with nightguard vital bleaching. *Quintessence Int* 1997; 28: 527-538.

Leonard RH Jr, Bentley C, Eagle JC, Garland GE, Knight MC, Philips C. Nightguard vital bleaching. A long-term study on efficacy, shade retention, side effects, and patients perceptions. J Esthet Restor Dent 2001; 13(6): 357-369.

Lewinstein I., Hirschfeld Z., Stabholz A; Rotsein I. Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin. J Endod 1994; 20: 61-63.

Li Y. Tooth bleaching using peroxide-containing agents: current status of safety issues. Compend Contin Educ Dent 1998; 19(8): 783-6.

Lim MY, Lum SO, Poh RS, Lee GP, Lim KC. An in vitro comparison of the bleaching efficacy of 35% carbamide peroxide with established intracoronary bleaching agents. Int Endod J 2004; 37(7): 483-8.

Llamas Cadaval R., Jiménez Planas A., Esteban Herrera I., Ibáñez García F. Técnicas para el blanqueamiento de los dientes endodonciados. Av Odontoestomatol 1994; 10: 461-470.

Llena C., Amengual J, Forner L. Sealing capacity of a photochromatic flowable composite as protective base in nonvital dental bleaching. Int

Endod J 2006; 39: 185-189.

Lopes GC, Bonissoni L, Baratieri LN, Vieira LC, Monteiro S Jr. Effect of bleaching agents on the hardness and morphology of enamel. J Esthet Restor Dent 2002; 14(1): 24-30.

Luo MR, Cui G and Rigg B. The development of the CIE 2000 colour difference formula: CIEDE2000. Color Res Appl 2001; 26: 340-50.

Marin PD., Bartold PM. and Heithersay GS. Tooth discoloration by blood: an in vitro histochemical study. Endod Dent Traumatol 1997; 13: 132-138.

Martin-Biedma B, Gonzalez-Gonzalez T, Lopes M, Lopes L, Vilar R, Bahillo J, Varela-Patiño P. Colorimeter and scanning electron microscopy analysis of teeth submitted to internal bleaching. J Endod 2010; 36: 334-7.

McCaslin AJ, Haywood VB, Potter BJ, Dickinson GL, Russell CM. Assessing dentin color changes from nightguard vital bleaching. J Am Dent Assoc 1999 Oct; 130(10): 1485-90.

McIsaac AM, Hoen CM. Intracoronal bleaching: Concerns and considerations. J Can Dent Assoc 1994; 60(1): 57-64.

McLaren K. Colour space, colour scales and colour difference. In: McDonald R, editor. Colour physics for industry. Huddersfield: H. Charlesworth & Co Ltd; 1987. p. 97—115.

Meneses Espinosa CE, Llamosas Hernández E, Quintanar Zúñiga RE. Análisis morfológico y químico mediante microscopía electrónica del esmalte de dientes sometidos a blanqueamiento. Revista ADM 2013; 70(3): 146-150.

Miranda CB, Pagani C, Benetti AR, Matuda F da S. Evaluation of the bleached human enamel by Scanning Electron Microscopy. J Appl Oral Sci 2005; 13(2): 204-11.

Nagore Enguítanos AM, Amengual Lorenzo J, Forner Navarro L. Estudio comparativo de productos y técnicas de blanqueamiento dental. Archivos de Odontoestomatología 1998; 14(2): 119-123.

Naik s, Tredwin CJ, Scully Crispian. Hydrogen peroxide tooth-whitening(bleaching):Review of safety in relation to possible carcinogenesis. Oral Oncol 2006; 42: 668-674.

Nathoo SA. The chemistry and mechanism of extrinsic and intrinsic discoloration. J Am Dent Assoc 1997; 128: 6S-10S.

Nathoo SA, Chmielewski M, Kirkup RE. Effects of Colgate Platinum Professional Toothwhitening System on microhardness of enamel, dentin and composite resins. *Compend Contin Educ Dent* 1994; 17: S627–S630.

Neuvald L, Den S, Consolaro A. Cementoenamel Junction: Microscopic analysis and external cervical resorption. *J Endod* 2000; 26(9):503-508.

De Oliveira LD, Carvalho CA, Hilgert E, Bondioli IR, De Araújo MA, Valera MC. Sealing evaluation of the cervical base in intracoronal bleaching. *Dent Traumatol* 2003; 19: 309–313.

O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 1997; 13: 179-185.

Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 642-648.

Ortiz Alías. Aplicación de Microscopía Electrónica y Radiación Sincotróon al Estudio de Materiales y Procesos Avanzados para la Salud y la Estética Dental (tesis). Barcelona (España): Universidad Autónoma de Barcelona; 2012.

Oskoe PA, Navimipour EJ, Oskoe SS, Moosavi N. Effect of 10% sodium ascorbate on bleached bovine enamel surface morphology and microhardness. *Open Dent J* 2010; 4: 207-210.

Paravina RD. New shade guide for tooth whitening monitoring: visual assessment. *J Prosthet Dent* 2008; 99(3): 178-184.

Pascual Moscardó A, Camps Alemany I. Aesthetic dentistry: Chromatic appreciation in the clinic and the laboratory. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006; 11(4): E 363-8.

Paravina RD, Powers JM. *Esthetic color training in dentistry*. Houston, Texas: Elsevier Mosby 2004.

Pashley EL, Tao L, Matthews WG, Pashley DH. Bond strengths to superficial, intermediate and deep dentine in vivo with four dentine bonding systems. *Dent Mater* 1993; 9: 19-22.

Perdigao J, Swift EJ. Analysis of dental adhesive systems using scanning electron microscopy. *Int Dent J* 1994; 44: 349-59.

Perdigao J, Francci C, Swift EJ Jr, Ambrose WW, Lopes M. Ultra morphological study of the interaction of dental adhesive with carbamide

peroxide bleached enamel. *Am J Dent* 1998; 11(6): 291–301.

Perdigao J, Baratieri LN, Müller G. Contemporary trends and techniques in tooth whitening: A review. *Pract Proced Aesthet Dent* 2004; 16(3): 185-192.

Perrine GA, Reichl RB, Baisden MK, Hondrum SO. Comparison of 10% carbamide peroxide and sodium perborate goes intracoronal bleaching. *Gen Dent* 2000; 48: 264-70.

Pohjola RM, Browning WD, Hackman ST, Myers ML, Downey MC. Sensivity and tooth whitening agents. *J Esthet Restor Dent* 2002; 14: 85-91.

Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital tooth bleaching: A review of the literature and clinical procedures. *J Endod* 2008; 34(4): 394-407.

Powel LW, Bales DJ. Tooth bleaching: Its effects on oral tissues. *J Am Dent Assoc* 1991; 122(11): 50-4.

Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. The effect of bleaching on enamel susceptibility to acid erosion and desmineralisation. *Br Dent J* 2005; 198: 285-290.

Price RB, Sedarous M, Hiltz GS. The pH of tooth- whitening products. J Can Dent Assoc 2000; 66: 421-426.

Rodrigues JA, Basting RT, Serra MC, Rodrigues AL. Effects of 10% carbamide bleaching material on enamel microhardness. Am J Dent 2001; 14(2): 67-71.

Rotstein I, Friedman S. pH variation among materials used for intracoronar bleaching. J Endod 1991; 17(8): 376-9.

Rotstein I, Torek Y, Lewinstein I. Effect of bleaching time and temperature on the radicular penetration of hydrogen peroxide. Endod Dent Traumatol 1991; 7(5): 196-8.

Rotstein I, Zalkind M, Mor C, Tarabeah A, Friedman S. In vitro efficacy of sodium perborate preparations used for intracoronar bleaching of discolored non-vital teeth. Endod Dent Traumatol 1991; 7: 177-80.

Rotstein I, Zyskind D, Lewinstein I, Bamberger N. Effect of different protective base materials on hydrogen peroxide leakage during intracoronar bleaching in vitro. J Endod 1992; 18: 114 -7.

Rotstein I, Mor C, Friedmann S: Prognosis of in- tracoronal bleaching with sodium perborate preparations in vitro: 1-year study. J Endod 1993; 19(1): 10-12.

Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. J Endod 1996; 22: 23-6.

Rotstein I. Tooth discoloration and bleaching. Endodontics, (5th ed.), BC Decker Inc, Hamilton, Ontario, Canada (2002), pp. 845-860.

Ruse ND, Smith DC, Torneck CD, Titley KC. Preliminary surface analysis of etched, bleached, and normal bovine enamel. J Dent Res 1990; 69: 1610-3.

Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. J Oral Rehabil 2000; 27: 786-92.

Santos JN, Oliveira D, Dametto FR, Figueiredo BP, Zaia AA, de Almeida JF, Randi CC. Surface morphology alterations in bovine dentin exposed to different bleaching agents. Braz J Oral Sd 2009; 8(1): 25-29.

Sasaki RT, Arcanjo AJ, Florio FM, Basting RT. Micromorphology and microhardness of enamel after treatment with home-use bleaching agents containing 10% carbamide peroxide and 7.5% hydrogen peroxide. *J Appl Oral Sci* 2009; 17(6): 611-6.

Scannapieco FA., Levine MJ. Saliva and dental pellicles, R.J. Genco, H.M. Goldman, W.D. Cohen, Editors , *Contemporary periodontics*, Mosby, St Louis (1990).

Settembrini L, Gultz J, Kaim J, Scherer W. A technique for bleaching non vital teeth: inside/outside bleaching. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 1283-1284.

Shimada K, Kakehashi Y, Matsumura H, Tanoue N. In vivo quantitative evaluation of tooth color with hand-held colorimeter and custom template. *J Prosthet Dent* 2004; 91(4): 389-391.

Shinohara MS, Peris AR, Rodrigues JA, Pimenta LA, Ambrosano GM. The effect of nonvital bleaching on the shear bond strength of composite resin using three adhesive systems. *J Adhes Dent* 2004; 6(3): 205-9.

Spalding M, Taveira LA, de Assis GF. Scanning electron microscopy study of dental enamel surface exposed to 35% hydrogen peroxide: Alone, with

saliva, and with 10% carbamide peroxide. J Esthet Restor Dent 2003; 15: 154-164.

Sulieman M, Rees JS, Addy M. Surface and pulp chamber temperature rises during tooth bleaching using a diode laser: a study in vitro. Br Dent J 2006; 200: 631-634.

Sulieman M. An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy. Periodontol 2000 2008; 48: 148-169.

Teixeira EC, Hara AT, Turssi CP, Serra MC. Effect of non vital tooth bleaching on microleakage of coronal access restorations. J Oral Rehabil 2003; 30(11): 1123-7.

Timpawat S, Nipattamanon C, Kijsamanmith K, Messer HH. Effect of bleaching agents on bonding to pulp chamber dentine. Int Endod J 2005; 38: 211-17.

Tipton DA, Braxton SD, Dabbous MK. Effects of a bleaching agent on human gingival fibroblasts. J Periodontol 1995; 66(1): 7-13.

Titley KC, Torneck CD, Smith DC, Adibfar A. Adhesion of composite resin to bleached and unbleached bovine enamel. J Dent Res 1988; 67(12):

1523-8.

Tong LS, Pang MK, Mok NY, King NM, Wei SH. The effects of etching, micro-abrasion, and bleaching on surface enamel. J Dent Res 1993; 72: 67-71.

Torneck CD, Titley KC, Smith DC, Adibfar A. Effect of water leaching on the adhesion of composite resin to bleached and unbleached bovine enamel. J Endod 1991; 17(4): 156-60.

Touati B, Miara P, Nathanson D. Odontología estética y restauraciones cerámicas. 1º edición. Barcelona: Edit Masson. 2000.

Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. J Prosthet Dent 2002; 88: 585-90.

Turker SB, Biskin T. Effect of three bleaching agents on the surface properties of three different esthetic restorative materials. J Prosthet Dent 2003; 89: 466-73.

Vaarkamp J, Ten Bosch JJ, Verdonchot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine. Caries Res 1995; 29:8-13.

Vachon C, Vanek P, Friedman S. Internal bleaching with 10% carbamide peroxide in vitro. *Prat Periodontics Aesthet Dent* 1998; 10(9): 1145-8.

Valera MC, Camargo CHR, Carvalho CAT, Dias de Oliveira L, Esteves S, Camargo A, Martins Rodrigues C. Effectiveness of carbamide peroxide and sodium perborate in non-vital discolored teeth. *J Appl Oral Sci* 2009;17(3): 1-10.

Victorin K. Review of genotoxicity of ozone. *Mutat Res* 1992; 277: 221–238.

Vieira C, Silva-Sousa YT, Pessarello NM, Rached-Junior FA, Souza-Gabriel AE. Effect of high-concentrated bleaching agents on the bond strength at dentin/resin interface and flexural strength of dentin. *Braz Dent* 2012; 23(1): 28-35.

Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining. A review of the literature. *Br Dent J* 2001; 190: 309–316.

Warren MA, Wong M, Ingram TA. An in vitro comparison of bleaching agents on the crowns and roots of discoloured teeth. *J Endod* 1990; 10: 463-67.

Weiger R, Kuhn A, Löst C. Radicular penetration of hydrogen peroxide during intracoronar bleaching using various forms of sodium perborate. *Int Endod J* 1994; 27: 313-7.

Wiegand A, Drebenstedt S, Roos M, Magalhaes AC, Attin T. 12- Month color stability of enamel, dentine, and enamel-dentine samples after bleaching. *Clin Oral Invest* 2008; 12: 303-310.

Wiegand A, Vollmer D, Foitzik M, Attin R, Attin T. Efficiency of different whitening modalities on bovine enamel and dentin. *Clin Oral Invest* 2005; 9: 91-7.

Wille T. A clinical pilot study of the time-dependent composition of tooth bleaching systems. *J Oral Rehab* 2003; 30: 510-514.

Winter R. Visualizing the natural dentition. *J Esthet Dent* 1993; 5: 102-117.

Woolverton CJ, Haywood VB, Heymann HO. A toxico- logical screen of two

carbamide peroxide tooth whiteners. J Dent Res 1991; 70: 558 (Abstract No. 2335).

Yeh ST, Su Y, Lu YC, Lee SY. Surface changes and acid dissolution of enamel after carbamide peroxide bleach treatment. Oper Dent 2005; 30: 507-515.

Yui KC, Rodrigues JR, Mancini MN, Balducci I, Gonçalves SE. Ex vivo evaluation of the effectiveness of bleaching agents on the shade alteration of blood stained teeth. Int Endod J 2008; 41: 485-92.

Zantner C, Derdilopoulou F, Martus P, Kielbassa AM. Randomized clinical trial on the efficacy of 2 over-the-counter whitening systems. Quintessence Int 2006; 37(9): 695-706.

Zekonis R, Matis BA, Cochran MA, Al Shetri SE, Eckert GJ, Carlson TJ. Clinical evaluation of in office and at home bleaching treatments. Operative Dentistry 2003; 28(2): 114-121.

Zimmerli B, Jeger F, Lussi A. Bleaching of Nonvital Teeth. A Clinically relevant literature review. Research and Science 2010; 120(4): 306-313.

